



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN BASADO EN CÉLULAS PELTIER

17 de junio

2014

AUTOR: Sergio López Campos
TUTOR ACADÉMICO: Juan Vázquez Martínez
TUTOR PRÁCTICA: Rafael Reina Acedo



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que me han facilitado y permitido finalmente la consecución de mi carrera y la realización de este proyecto. Son muchas pero me gustaría destacar algunas.

En primer lugar, quisiera expresar mi gratitud a mi familia por haberme apoyado durante tantos años de carrera y haberme empujado durante toda la trayectoria como estudiante superando cualquier situación más o menos dura.

Mi agradecimiento más especial a Rafael Reina, mi tutor de toda la parte práctica y mentor durante todo el proceso de diseño y desarrollo del proyecto, por su inestimable hospitalidad, paciencia, guía y ayuda. Ha sido un privilegio poder aprender y trabajar al lado de un gran profesional de la electrónica y excelente profesor. Sin él este proyecto no habría sido posible.

A Juan Vázquez, mi tutor académico y antiguo profesor, habiendo hecho posible que mi memoria tome forma y contenido, además del perfeccionamiento de la estructura. De igual manera, agradecerle la motivación que me inspiró en sus clases por los sistemas electrónicos digitales que en el presente proyecto se tratan. Y gratificarle el ponerme en contacto con su compañero Rafael Reina y acceder a compartir la tutoría del proyecto.

A todos mis profesores a lo largo de esta carrera, por su espíritu generoso para enseñar, su paciencia y su buen hacer. Sin la capacidad de estos profesionales para transmitir los conocimientos, habría sido imposible aprender.

También quisiera darles mi agradecimiento a todos mis compañeros de carrera, con los que he compartido muchas experiencias y de los que he podido aprender mucho. Gracias a esta convivencia hemos podido desarrollar las facultades para el trabajo en equipo y superar nuestras propias limitaciones.

Por último, a mi pareja, todos mis amigos y gente de mi confianza, por el apoyo moral y personal, que también es necesario para poder desarrollar el trabajo sin llegar a desfallecer.

RESUMEN

El presente proyecto trata de una solución ideada con el objetivo de enfriar urnas, invernaderos o terrarios mediante sistemas que no perturben la tranquilidad de los animales y de los que los mantenemos, y controlarlos de una forma precisa, automática y natural.

Ante la falta de soluciones en el mercado de sistemas de refrigeración, únicamente servidos a través de compresores que ocupan grandes volúmenes, consumos de potencia muy altos y emiten mucho ruido y vibran, se idea la posibilidad de usar la tecnología de las células Peltier.

Estas células son unas planchas de dimensiones pequeñas que trabajan con pequeñas potencias y que cumplían con el resto de objetivos planteados. Para su buena aplicación y correcto funcionamiento, es necesario desarrollar un equipo térmico compuesto de varios disipadores, aislante y ventilación.

Posteriormente, este equipo térmico se conecta con un módulo de potencia capaz de alimentar la célula en dos sentidos y por tanto, permitiendo enfriar y calentar el volumen de trabajo para lograr una temperatura estable sean cuales sean las condiciones ambientales.

Se le añade un módulo de control con entradas y salidas a periféricos desde un microprocesador para convertirlo al final en un dispositivo avanzado programable y automático y cumpliendo de esta manera todas las especificaciones deseadas.

Las señales de control de la célula Peltier se generan con una onda PWM que nos permite regular el ciclo de trabajo en todo momento y de esta forma, responder instantáneamente a cualquier cambio ambiental producido de forma natural o artificial, y prevenir de errores de mantenimiento ajenos a la máquina.

Posteriormente se le añaden otras características aprovechando los grandes recursos que se permiten al haberle conectado un microprocesador. Todo ello se albergará en una estructura diseñada por ordenador con el fin de mantener plantas, animales, etc. cumpliendo con los requisitos climáticos necesarios.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN	5
ÍNDICE GENERAL.....	7
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	10
ÍNDICE DE TABLAS	12
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO.....	14
1.2. OBJETIVOS	15
1.3. CONTENIDO DE LA MEMORIA.....	17
2. ESTADO DEL ARTE	20
2.1. PRINCIPALES TECNOLOGÍAS TÉRMICAS. MÓDULOS TERMOELÉCTRICOS.....	20
2.2. EQUIPOS DE CONTROL Y DE POTENCIA	22
2.3. SENSORES Y ACTUADORES	23
3. PRINCIPIO TÉRMICO: CÉLULAS CALORÍFICAS PELTIER	26
3.1. FUNDAMENTOS TERMOELÉCTRICOS DE LAS CÉLULAS	26
3.1.1. <i>Efecto Seebeck</i>	26
3.1.2. <i>Efecto Peltier</i>	27
3.1.3. <i>Efecto Joule y efecto Fourier</i>	28
3.1.4. <i>Efecto Thomson</i>	29
3.2. MODELADO DE LA CÉLULA PELTIER	30
3.2.1. <i>Módulos termoelectricos</i>	30
3.2.2. <i>Funcionamiento de los módulos termoelectricos</i>	32
3.2.3. <i>Elección módulo termoelectrico</i>	34
3.3. CONJUNTO TERMOELÉCTRICO DE REFRIGERACIÓN	35
3.3.1. <i>Disipación. Conducción, convección y radiación</i>	36
3.3.2. <i>Aislamiento y distribución calor</i>	37
3.4. PROTOTIPOS DE PRUEBAS.....	39
3.5. INVESTIGACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN ELÉCTRICA Y TÉRMICA.....	40
3.5.1. <i>Resultados eléctricos</i>	40
3.5.2. <i>Comparativa resultados térmicos</i>	42
3.5.3. <i>Comparativa resultados ciclos de trabajo</i>	43
3.5.3. <i>Comparativa resultados ciclos de trabajo máximos</i>	44
4. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA: SENSORES	49
4.1. TERMÓMETRO DS18B20	49
4.1.1. <i>Medición temperatura DS18B20</i>	50
4.1.2. <i>Comunicación 1-Wire DS18B20</i>	51
4.1.3. <i>Señal de comunicación DS18B20</i>	52

4.2.	TERMOHIGRÓMETRO DHT11	54
4.2.1.	<i>Medición temperatura y humedad DHT11</i>	55
4.2.2.	<i>Comunicación Single-bus DHT11</i>	55
4.2.3.	<i>Señal de comunicación DHT11.....</i>	57
5.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL: HARDWARE	60
5.1.	REQUISITOS	60
5.2.	PLACA DE DESARROLLO STM32VL DISCOVERY	63
5.2.1.	<i>Hardware y Layout STM32VL</i>	64
5.3.	PERIFÉRICOS Y ACTUADORES DEL EQUIPO	66
5.3.1.	<i>Periféricos</i>	66
5.3.2.	<i>Actuadores y dispositivos de actuación</i>	70
5.4.	ALIMENTACIÓN DEL EQUIPO	74
5.5.	PLACA DE MONTAJE DEL DISPOSITIVO DE CONTROL	76
5.6.	PLACA DE POTENCIA DEL EQUIPO TÉRMICO.....	79
6.	DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL I. FIRMWARE	84
6.1.	LIBRERÍA DE PERIFÉRICOS PRINCIPALES.....	84
6.1.1.	<i>Puertos GPIO</i>	85
6.1.2.	<i>Comunicación I2C</i>	85
6.1.3.	<i>Comunicación USART</i>	86
6.1.4.	<i>Gestor interrupciones NVIC</i>	86
6.1.5.	<i>Convertor digital analógico DAC</i>	87
6.1.6.	<i>Convertor analógico digital ADC</i>	88
6.1.7.	<i>Reloj de tiempo real RTC</i>	89
6.1.8.	<i>Reset y control reloj RCC</i>	90
6.2.	FUNCIONES TIMER 3. INTERRUPTIONES PWM	91
6.2.1.	<i>Señal PWM iluminación</i>	92
6.2.2.	<i>Señal PWM Peltier</i>	94
6.2.3.	<i>Señal PWM renovación.....</i>	95
6.3.	FUNCIONES TIMER 4. COMUNICACIÓN SONDAS.....	96
6.3.1.	<i>Temporización DS18B20.....</i>	97
6.3.2.	<i>Temporización DHT11</i>	99
6.4.	DISTRIBUCIÓN MEMORIA EEPROM	100
7.	DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL II. SOFTWARE	103
7.1.	INICIALIZACIÓN, RESET Y MAIN DEL PROGRAMA	103
7.2.	MÁQUINA SECUENCIAL. ALARMAS.....	106
7.3.	MÁQUINAS AUTOMÁTICAS DE CONTROL.....	108
7.3.1.	<i>Display.....</i>	108
7.3.2.	<i>Sistema climatización.....</i>	110
7.3.3.	<i>Sistema de iluminación.....</i>	111
7.3.4.	<i>Sistema de lluvia</i>	112
7.3.5.	<i>Sistema de renovación.....</i>	113
7.4.	FUNCIONES SOPORTE DE MÁQUINAS DE ESTADO	114
7.4.1.	<i>Calendario solar.....</i>	114
7.4.2.	<i>Amanecer y anochecer solar</i>	115

7.4.4.	<i>Humedad</i>	118
7.5.	OTRAS FUNCIONES DE SOPORTE	121
7.5.1.	<i>Escritura y lectura de datos</i>	121
7.5.2.	<i>Manejos de tiempo</i>	122
7.5.3.	<i>Funciones matemáticas</i>	123
8.	RESULTADOS FINALES DEL PROYECTO	126
8.1.	RESULTADOS DEL EQUIPO TÉRMICO Y DE CONTROL.....	126
8.1.1.	<i>Funcionamiento en régimen máximo de trabajo</i>	126
8.1.2.	<i>Funcionamiento en régimen automático regulado</i>	128
8.2.	RESULTADOS DEL EQUIPO DE ILUMINACIÓN Y DE CONTROL.....	130
9.	PLANIFICACIÓN Y COSTES	134
9.1.	DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES	134
9.1.1.	<i>Documentación</i>	135
9.1.2.	<i>Compras y aprovisionamiento</i>	135
9.1.3.	<i>Diseño del sistema</i>	135
9.1.4.	<i>Desarrollo del sistema</i>	136
9.1.5.	<i>Integración del dispositivo</i>	136
9.2.	COSTES RECURSOS	137
9.2.1.	<i>Recursos de trabajo</i>	137
9.2.2.	<i>Recursos materiales</i>	137
9.3.	PRESUPUESTO PROYECTO	139
10.	CONCLUSIONES	141
10.1.	RESUMEN DE CONCLUSIONES.....	141
10.2.	MEJORAS Y LÍNEAS DE FUTURO	143
	GLOSARIO	146
	APÉNDICE	149

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Controlador temperatura (http://www.tetech.com/)</i>	22
<i>Ilustración 2 Circuito termoelectrico Seebeck</i>	27
<i>Ilustración 3 Circuito termoelectrico Peltier</i>	27
<i>Ilustración 4 Esquema del efecto Joule</i>	28
<i>Ilustración 5 Esquema del efecto Fourier</i>	28
<i>Ilustración 6 Esquema del efecto Thomson</i>	29
<i>Ilustración 7 Conexión eléctrica módulo termoelectrico</i>	30
<i>Ilustración 8 Funcionamiento térmico de las uniones semiconductoras</i>	31
<i>Ilustración 9 Módulo termoelectrico funcionando como refrigerador (http://nergiza.com/)</i>	31
<i>Ilustración 10 Ejemplo comportamiento célula Peltier a $T_{amb}=25^{\circ}C$ (http://tetech.com/)</i>	33
<i>Ilustración 11 Ejemplo comportamiento célula Peltier a $T_{amb}=25^{\circ}C$ (http://tetech.com/)</i>	33
<i>Ilustración 12 Dimensiones geométricas célula 12710</i>	34
<i>Ilustración 13 Disposición conjunto termoelectrico</i>	35
<i>Ilustración 14 Prototipo 3D conjunto térmico</i>	35
<i>Ilustración 15 Circuito térmico de la unidad de refrigeración</i>	37
<i>Ilustración 16 Equipo refrigerador encapsulado en aislante</i>	38
<i>Ilustración 17 Friso 3D encaje conjunto termoelectrico</i>	38
<i>Ilustración 18 Vista Prototipo1 en dos fases de ejecución</i>	39
<i>Ilustración 19 Vista diseño 3D Prototipo2</i>	39
<i>Ilustración 20 Comportamiento corriente I a distintos voltajes V en el tiempo</i>	41
<i>Ilustración 21 Comportamiento T° a cambios de voltaje V en el tiempo</i>	41
<i>Ilustración 22 Comportamiento T° a cambios de V en el tiempo, con fuente de calor</i>	41
<i>Ilustración 23 Temperatura estable sin FC</i>	42
<i>Ilustración 24 Temperatura estable con FC interna</i>	42
<i>Ilustración 25 Temperatura extrema cálida</i>	43
<i>Ilustración 26 Temperatura extrema fría</i>	43
<i>Ilustración 27 Ciclo de trabajo 50% sin FC</i>	44
<i>Ilustración 28 Ciclo de trabajo 50% con FC</i>	44
<i>Ilustración 29 Ciclo de trabajo 100% Enfriando/Calentando</i>	45
<i>Ilustración 30 Esquema de conexión DS18B20</i>	50
<i>Ilustración 31 Tiempos de inicialización DS18B20</i>	51
<i>Ilustración 32 Diagramas de tiempo de Lectura/Escritura del DS18B20</i>	52
<i>Ilustración 33 Captura pantalla osciloscopio DS18B20</i>	53
<i>Ilustración 34 Esquema de conexión DHT11</i>	54
<i>Ilustración 35 Proceso general de medición DHT11</i>	55
<i>Ilustración 36 Protocolo iniciación comunicación DHT11</i>	56
<i>Ilustración 37 Indicación dato transmisión "0" DHT11</i>	56
<i>Ilustración 38 Indicación dato transmisión "1" DHT11</i>	56
<i>Ilustración 39 Captura pantalla osciloscopio DHT11 (1)</i>	57
<i>Ilustración 40 Captura pantalla osciloscopio DHT11 (2)</i>	58
<i>Ilustración 41 Placa STM32VL DISCOVERY</i>	63
<i>Ilustración 42 Diagrama de bloques placa desarrollo. Hardware</i>	64

<i>Ilustración 43 Layout STM32VL DISCOVERY</i>	64
<i>Ilustración 44 Diagrama de bloques microprocesador</i>	65
<i>Ilustración 45 Conexiones joystick dos canales y pulsador</i>	67
<i>Ilustración 46 Pantalla gráfica LCD e interface</i>	67
<i>Ilustración 47 Pines memoria EEPROM</i>	68
<i>Ilustración 48 Secuencia transferencia de datos en el bus serie</i>	69
<i>Ilustración 49 Convertidor serie USB-UART</i>	69
<i>Ilustración 50 Conexión PC-PCB</i>	70
<i>Ilustración 51 Configuración relé estado sólido LH1546</i>	71
<i>Ilustración 52 Configuración driver LDD-1000H</i>	72
<i>Ilustración 53 Fuente de alimentación 63w</i>	74
<i>Ilustración 54 Fuente de alimentación regulable 200w</i>	75
<i>Ilustración 55 Hardware microprocesador</i>	77
<i>Ilustración 56 Hardware periféricos</i>	77
<i>Ilustración 57 Hardware actuadores y dispositivos de actuación</i>	78
<i>Ilustración 58 Placa de montaje del control</i>	78
<i>Ilustración 59 Hardware circuito de potencia</i>	79
<i>Ilustración 60 Caso de no funcionamiento célula Peltier (1)</i>	80
<i>Ilustración 61 Caso de no funcionamiento célula Peltier (2)</i>	81
<i>Ilustración 62 Funcionamiento FRÍO célula Peltier</i>	81
<i>Ilustración 63 Funcionamiento CALOR célula Peltier</i>	82
<i>Ilustración 64 Ciclos de trabajo PWM</i>	91
<i>Ilustración 65 Evolución ciclo PWM iluminación</i>	94
<i>Ilustración 66 Amortiguamiento de señales</i>	95
<i>Ilustración 67 Máquina de Moore del sistema de alarmas</i>	107
<i>Ilustración 68 Esquema menú pantalla</i>	108
<i>Ilustración 69 Máquina automática control de célula Peltier</i>	110
<i>Ilustración 70 Máquina automática control de iluminación</i>	111
<i>Ilustración 71 Máquina automática control de lluvia</i>	112
<i>Ilustración 72 Máquina automática control de renovación</i>	113
<i>Ilustración 73 Ecuación del Tiempo</i>	114
<i>Ilustración 74 Salida y puesta de Sol aparente y real</i>	115
<i>Ilustración 75 Oscilación temperatura anual y temperatura diaria (los 365 días del año)</i>	117
<i>Ilustración 76 Ejemplo oscilación temperatura instantánea (los 365 días del año)</i>	117
<i>Ilustración 77 Desviaciones temperatura respecto al seno</i>	118
<i>Ilustración 78 Ejemplo oscilación humedad instantánea (los 365 días del año)</i>	119
<i>Ilustración 79 Desviaciones temperatura respecto al seno</i>	120
<i>Ilustración 80 Comparativa Cooling-Heating TERRARIO Dmax</i>	126
<i>Ilustración 81 Comparativa Cooling-Heating NEVERA Dmax</i>	127
<i>Ilustración 82 Captura pantalla osciloscopio señal PWM_Peltier</i>	129
<i>Ilustración 83 Captura pantalla osciloscopio señal PWM2_Iluminacion (1)</i>	130
<i>Ilustración 84 Captura pantalla osciloscopio señal PWM2_Iluminacion (2)</i>	131
<i>Ilustración 85 Luminancia durante simulación amanecer</i>	131
<i>Ilustración 86 Simulación amanecer en Prototipo 1</i>	132

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Comparativa métodos usuales de refrigeración</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 2 Comparativa propiedades de los principales transductores de temperatura</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 3 Especificaciones técnicas célula 12710</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 4 Formato de registro de la temperatura en el DS18B20.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 5 Principales requisitos hardware del sistema</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 6 Lista de necesidades y componentes.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 7 Pines microprocesador y su configuración</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 8 Valores señales entrada circuito de potencia.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 9 Lógica de control circuito de potencia.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 10 Diagrama de flujo GPIO.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 11 Diagrama de flujo comunicación I2C.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 12 Diagrama de flujo comunicación USART.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 13 Diagrama de flujo gestor de interrupciones NVIC.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 14 Diagrama de flujo conversor DAC</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 15 Diagrama de flujo del conversor ADC.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 16 Diagrama de flujo del RTC</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 17 Diagrama de flujo RCC.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 18 Diagrama de flujo de configuración TIM 3.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 19 Diagrama de flujo TIM4 canal 4</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 20 Bloques memoria EEPROM.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 21 Diagrama de flujo inicialización dispositivo</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 22 Diagrama de flujo display.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 23 Semanas de actividad.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 24 Actividades documentación</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 25 Actividad compras</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 26 Actividad de diseño.....</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 27 Actividad de desarrollo.....</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 28 Recursos de trabajo</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 29 Recursos útiles de trabajo</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 30 Recursos materiales.....</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 31 Presupuesto proyecto.....</i>	<i>139</i>

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

En los años que he pasado en la Universidad Carlos III como alumno de ingeniería industrial, he tenido la oportunidad de profundizar en aspectos teóricos de la ingeniería así como de poner estos conocimientos teóricos en práctica a través de los múltiples laboratorios cursados. Desde el principio he podido contrastar la importancia de estas prácticas para poder completar el ciclo del aprendizaje, y poder además incrementar mi interés en las materias.

También he entendido que de esta forma se fijan las ideas más allá de la memoria, pues el concepto, una vez aplicado, cobra una forma más visual y más física. Es por este motivo que he querido aprovechar la ocasión para realizar mi proyecto fin de carrera en un dispositivo que alberga los grandes conceptos y ramas de la ingeniería industrial electrónica y parte de otras áreas de la ingeniería, y así obtener un aprendizaje aplicado.

Durante el transcurso de este proyecto he aplicado primeramente conceptos de ingeniería clásica como es la térmica, conducción, aislamiento, convección entre otros, para la implementación del equipo térmico conectado al elemento calorífico principal, la célula Peltier. Otra de las ramas con cierta relevancia es todo lo referente al comportamiento de los materiales, que he debido prever y planificar para la viabilidad del elemento calorífico y por evitar pérdidas caloríficas, roturas de compuestos, etc. Así como me he detenido brevemente en diseñar y estudiar la estructura para albergar todos los distintos dispositivos haciendo uso de programas de diseño Cad.

En cuanto a la electrónica, el proyecto tiene una parte basada en el estudio de la instrumentación, con el manejo de los distintos sensores utilizados. Otra gran parte de trabajo hardware, aplicando conceptos de electrónica de potencia y electricidad, para la implementación de la alimentación de la célula, combinados con conceptos de electrónica digital y microprocesadores para el diseño del circuito de control, por tanto trabajando en AC y en DC indistintamente. Así como otra gran parte de desarrollo software y de programación en C, necesario para describir la lógica y comunicación de todo el conjunto de aparatos. Por último, cabe destacar del proyecto el tratamiento de señales, como las ondas PWM o la comunicación de los sensores.

Por todo ello, considero que el trabajo es muy generalista y me ha ayudado a afianzar muchos de los conceptos especificados anteriormente y ello me ayudará en el presente y futuro para acceder a un trabajo y vivir de lo que me gusta y me motiva. Al haberlo combinado con uno de mis intereses y hobbies principales como es la naturaleza, puesto que la motivación final es construir un terrario o invernadero con un clima controlado, el camino recorrido ha sido apasionante desde un punto de vista personal.

1.2. OBJETIVOS

La tecnología existente en sistemas de generación calorífica a día de hoy y a nivel de usuario, está ideada para trabajar en habitaciones o espacios con grandes volúmenes de aire y en unas condiciones casi estables.

A grandes rasgos, para calentar un ambiente, las soluciones son diversas. Para amplios espacios existen todo tipo de calderas y quemadores con diferentes combustibles: sólido (carbón, leña), líquido (gasóleo) o gaseoso (butano, propano, gas natural). Para recintos más acotados y urnas suelen ser más apropiadas las fuentes de calor dependientes de la electricidad como estufas y calentadores que trabajan con resistencias.

En cuanto a la refrigeración de un ambiente se podría decir que las bombas de calor (aires acondicionados) es lo más extendido y en el caso de urnas, grandes recipientes o neveras, se utilizan compresores.

Entre los principales objetivos buscados en el proyecto se encuentran:

- Equipo de pequeñas dimensiones y sin ningún mantenimiento
- Generación de calor en dos sentidos. Capacidad de enfriar y calentar.
- Capacidad de generar amplio rango e incremento de temperaturas
- Fuente de calor fácilmente controlable para su posible automatización
- Fuente de calor de bajo consumo y con pocas pérdidas
- Fuente de calor precisa y sensible
- Sistema calorífico con buena inercia térmica
- Calor dirigible
- Bajo coste
- Evitar ruidos y vibraciones

Cada una de los sistemas de generación de calor mencionados con anterioridad no cumplen con casi ninguno de estos objetivos, por lo que se apostó por la tecnología basada en el efecto Peltier.

El éxito de esta solución se basa en que es una fuente de calor que se presenta en una pequeña plancha y ofrece muy buen rendimiento en volúmenes pequeños. Es capaz de generar tanto frío como calor con un incremento de temperatura superior a 50°C idealmente, a la par que tiene un consumo razonable, en función del volumen y el aislamiento con la urna que se está trabajando.

Para sacar rendimiento de esta célula o plancha se ha de montar junto con el equipo térmico encargado de disipar el calor. Este equipo provee una buena inercia térmica al sistema y al estar totalmente aislados los distintos elementos, y disipar por convección mediante ventilación, nos permite dirigir el flujo de calor entre otras ventajas.

Luego una vez que se dispone del equipo térmico junto con el módulo termoeléctrico Peltier, el objetivo en este momento se centra en encontrar un sistema capaz de controlar de

forma lógica y automática el equipo de calor, pues existía la pretensión de controlar un clima específico en un espacio cerrado como una urna.

Para ello se decide diseñar todo el equipo electrónico, compuesto de un microprocesador conectado a sensores y a distintos actuadores, que permite visualizar la información por un usuario a través de una interfaz de pantalla y manejar el equipo con teclado o joystick. Ello permite la programación y automatización de la urna con unos valores controlados de forma inteligente, precisa y sensible.

1.3. CONTENIDO DE LA MEMORIA

Esta memoria consta de nueve capítulos que se podrían estructurar en seis apartados principales:

- Introducción
- Experimentación y modelado del sistema
- Diseño del equipo de control
- Desarrollo del equipo de control
- Resultados Finales
- Planificación y costes
- Conclusiones

Primero se introduce la motivación y objetivos de este proyecto, y el estado del arte, tecnología y dispositivos que se están utilizando, de manera que el lector pueda obtener una idea global de lo que se ofrece actualmente en el mercado, conociendo las ventajas y desventajas que representa las distintas soluciones.

A continuación se detallan las principales características y estudios realizados de la solución técnica del sistema. En este apartado, se describen los distintos componentes y equipos en detalle y se experimenta en distintas condiciones ambientales, térmicas y eléctricas para su posible modelización. Además, se incluye el funcionamiento y comunicación de los métodos de medida empleados.

Seguidamente se introduce la parte de diseño, con todos los módulos y componentes empleados en el montaje del dispositivo, con mapas de la distribución y conexión de estos. Así como los requisitos necesarios para cumplir con las funcionalidades buscadas y los requisitos eléctricos y térmicos de los distintos componentes.

El siguiente apartado principal corresponde con el desarrollo del dispositivo y se trabaja en la funcionalidad del microprocesador y la descripción de las diferentes funciones de manejo de los periféricos. Se detallan todas aquellas funciones que trabajan sobre el hardware de la máquina, habilitándola para su posible descripción, comunicación, inicialización y posteriormente manejo de las entradas y salidas, el firmware.

Así como, también se incluyen dentro de la parte de desarrollo, las rutinas y bloques creados para el manejo y control del equipo electrónico, el software. Lógica de las distintas máquinas automáticas programadas, el funcionamiento de las alarmas, y distintas funciones de cálculo o de diseño de control que darán soporte a las funciones principales.

Tras estos apartados acaba el grueso del proyecto y a continuación se comenzará la parte de resultados y pruebas finales. En este capítulo se representan comparativas térmicas y eléctricas entre las dos formas de funcionamiento, frío y calor, así como el comportamiento del sistema para alcanzar resultados controlados. A partir de este capítulo se podría comenzar a desarrollar toda una parte de regulación de señales.

El penúltimo apartado trata sobre la planificación seguida durante la elaboración del proyecto y los recursos y costes en los que se habría incurrido de ser un proyecto profesional, así como los costes del producto desarrollado y ejecutado.

Finaliza con las conclusiones y líneas de futuro del proyecto así como con los apéndices, donde se adjuntan las hojas de características de los equipos y componentes y se profundiza en los distintos estudios realizados.

2. ESTADO DEL ARTE

Se comienza la memoria definiendo la base teórica sobre la que se sustenta el proyecto, esto es, el estado del arte, formando parte importante del apartado introductorio de la memoria.

En este capítulo se hará un repaso sobre las técnicas y tecnologías actuales relacionadas con el objeto de estudio para que posteriormente el lector comprenda las aportaciones al conocimiento que se realizan en el presente proyecto.

2.1. PRINCIPALES TECNOLOGÍAS TÉRMICAS. MÓDULOS TERMOELÉCTRICOS

Las diferentes tecnologías térmicas desarrolladas hasta el momento, a nivel particular, han recorrido un camino en el cuál se buscaba que ofreciesen una potencia eficaz para calentar grandes espacios y, de poder ser, esto se hiciese lo más inmediato posible. Ello implica la utilización y el desarrollo de equipos de grandes dimensiones, alojados en algún lugar de la casa o edificio, y con consumos muy importantes. Por otro lado, dado el contexto económico de los hogares, calentar la casa era básico por lo que en cualquier hogar encontraremos calderas y enfriarla era más excepcional. Pero en ningún momento de la historia se han empleado equipos que fuesen capaces de ofrecer características de enfriamiento y de calentamiento alternativamente.

Por ello, dadas las necesidades de este proyecto en particular, es necesario apostar por una tecnología antigua, pero nada estudiada y desarrollada, como son los módulos termoeléctricos o células Peltier.

A continuación se adjunta una comparativa con algunos ejemplos de métodos de climatización y sus principales características:

	BOMBA DE CALOR	EQUIPO DE ABSORCIÓN	TERMoeLECTRICIDAD
Dimensiones	MEDIANO	GRANDE	PEQUEÑO
Requerimientos	NINGUNO	FUENTE DE CALOR	NINGUNO
Ruido	ALTO	BAJO	NULO
Portátil	NO	NO	SI
Instalación	MEDIA	COMPLEJA	SIMPLE
Impacto ambiental	MEDIO	BAJO	NULO
COP (Coefficient of Performance)	ALTO	MEDIO	BAJO
Coste	ALTO	ALTO	BAJO

Tabla 1 Comparativa métodos usuales de refrigeración

Las aplicaciones industriales de los módulos termoeléctricos han sido escasas hasta el momento y es ahora cuando comienzan a ser empleadas, principalmente para la refrigeración de microprocesadores, discos duros y distintas placas en informática y para pequeños equipos frigoríficos, entre otras aplicaciones.

En los últimos años, la termoelectricidad ha avanzado enormemente, cada día hay mayor interés en esta rama de la termo-física y los estudios empiezan a ser numerosos, especialmente en aplicaciones en las cuales un control preciso de la temperatura es necesario. El hecho de poder refrigerar o calentar una zona concreta y de reducido tamaño permite abrir un gran abanico de puertas a la termoelectricidad. Es muy posible que a medio plazo, y teniendo en cuenta que los semiconductores mejoran día a día por el desarrollo e investigación de estos materiales, la posibilidad de mantener una temperatura idónea dentro de espacios más amplios, incluso en los hogares, sea posible gracias a esta tecnología.

2.2. EQUIPOS DE CONTROL Y DE POTENCIA

Actualmente en el mercado existen numerosas empresas que comercializan módulos termoelectrónicos que incorporan un conjunto completo de controladores de temperatura y de procesos. La mayoría de estos dispositivos disponen de un microprocesador que, mediante la acción de un mecanismo de control realimentado PID (Proportional-integral-derivative), proporciona una actuación rápida y precisa.

Mediante el control automático se consigue mantener la temperatura en un valor preestablecido. Para ello, se hace uso de una comparación de la medida con dicho valor preestablecido y, en función de la diferencia, se procede a modificar la acción del actuador. Los equipos comerciales pueden visualizar la temperatura medida y disponen de selectores para fijar los parámetros del regulador.



Ilustración 1 Controlador temperatura (<http://www.tetech.com/>)

La empresa TE Technology, Inc. ofrece numerosos controladores (*Ilustración 1*) de temperatura para su uso en células Peltier. Estos controladores emplean la modulación PWM que no causa daños a los módulos termoelectrónicos y proporcionan la corriente adecuada, haciendo uso de distintos ciclos de trabajos, para realizar el control de temperatura.

El control automático desempeña un papel importante en los procesos de manufactura, industriales, navales, aeroespaciales, robótica, químicos. De ahí que el control automático esté ligado a prácticamente todas las ingenierías (eléctrica, electrónica, aeronáutica, mecánica, sistemas, industrial, química, etc.). La selección del control apropiado para una aplicación dada, depende del grado de control requerido por la aplicación.

2.3. SENSORES Y ACTUADORES

Independientemente de lo avanzados que sean los controladores empleados para manejar el módulo termoelectrónico, la gran base del error del control está en los dispositivos encargados de la toma de mediciones del medio.

En muchos de estos equipos la adquisición de temperaturas se realiza a través de termopares, que son dispositivos formados por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje que es función de la diferencia de temperatura entre los extremos del dispositivo. También se debe pensar en la instalación, en la forma en que se transmiten los datos del sensor hacia el regulador y posibles fuentes de interferencias.

A continuación se muestra una comparativa de los rangos de medición, deriva de la resistencia, precisión y sensibilidad de las principales tecnologías de medición de la temperatura:

RTD. Platino de película fina de IDT del platino en un sustrato cerámico	Termistor NTC de óxido de metal	Termopares
Medición de la temperatura estándar: -70 ° C a +500 ° C Máxima: -40 ° C hasta 1000 ° C	Rango de temperatura de medición depende del tipo, rango típico de 200 K	Rango de temperatura de medición de -40 ° C hasta 1700 ° C (rango depende del tipo)
Deriva de la resistencia nominal: 0,04% después de 1000 horas a 500 ° C	Deriva de la resistencia nominal: 0,35% después de 100 horas a 150 ° C	Dependiente del diseño del termómetro
Precisión según DIN EN 60751, Clase B: $\pm 0,21\%$ a 100 ° C $\pm 0,33\%$ a +500 ° C	Una precisión típica de $\pm 1\%$ de resistencia, $+/-0,2$ ° C en los rangos de temperatura estrecha	Exactitud de la clase de tolerancia 2, dependiendo del tipo de: 2,5 ° C o 0,0075 x l t l cableado con cables de compensación
Señal constante en el rango de temperatura de la sensibilidad > 4 ohmios/K para Pt1000	Sensibilidad señal de alto para ciertos intervalos de t^a , mayor resistencia al cambio por Deg. K que Pt RTD o KTY	Rangos de Sensibilidad desde $\mu V/Deg$ K a mV/Deg K, dependiendo del tipo de termopar

Tabla 2 Comparativa propiedades de los principales transductores de temperatura

Los actuadores son aquellos elementos que pueden provocar un efecto sobre el sistema termo-eléctrico controlado. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da la salida necesaria para activar a un elemento final de control.

En los procesos que requieren un control de temperatura, los actuadores empleados son resistencias eléctricas, ventiladores, extractores, entre otros. Estos actuadores son

dispositivos en donde la corriente eléctrica produce una pérdida de energía que se transforma en calor. El calor produce un incremento de la temperatura sobre el sistema.

En este proyecto se emplean como actuadores módulos termoeléctricos que presentan grandes ventajas frente a los tradicionales, cuando se trata de enfriar un medio o un flujo de aire. Aparte, se utilizan otra clase de actuadores para otras capacidades del sistema que mencionaremos más adelante.

3. PRINCIPIO TÉRMICO: CÉLULAS CALORÍFICAS PELTIER

Con este capítulo se comienza la explicación del proyecto general, la serie de investigaciones, adquisición de datos, y diseño, desarrollo y ejecución del dispositivo electrónico de control del clima.

3.1. FUNDAMENTOS TERMOELÉCTRICOS DE LAS CÉLULAS

En 1821 el físico alemán Thomas Seebeck descubrió que si se juntan dos alambres por sus extremos y en uno de ellos se fuerza una temperatura superior al otro extremo, en este otro extremo aparece una diferencia de tensión lo cual induce un flujo de corriente entre las uniones a distintas temperaturas.

Años más tarde, en 1834, el físico francés Jean Peltier, trabajando sobre el efecto descubierto por su colega alemán, se dio cuenta de que si se hacía pasar una corriente eléctrica entre dos materiales distintos unidos por los extremos, se conseguía el efecto contrario al descrito por Seebeck, una de las uniones disipaba calor mientras que el otro material absorbía calor, generando de esta manera un flujo de calor entre los dos materiales.

Dos décadas posteriores, el científico británico William Thomson consigue interrelacionar ambos efectos con un único material conductor, consiguiendo que según el paso de la corriente eléctrica, el material absorba o emita calor.

Fue entonces en el siglo XIX cuando dio comienzo la ciencia de la Termoelectricidad, rama de la Termodinámica donde se estudian los fenómenos en los que están presentes el calor y la electricidad. Y también es el fenómeno físico por el cual se convierten diferencias de temperatura en diferencias de tensión y viceversa

3.1.1. *Efecto Seebeck*

El efecto Seebeck es una conversión neta de la energía térmica en energía eléctrica bajo la condición de intensidad de corriente nula. Es en este efecto en el que se basan los transductores termopares.

Las condiciones bajo las que se produce son:

- Conductores distintos, material X y material Y, conectados en circuito abierto.
- Gradiente térmico ∇T impuesto entre las uniones A y B.

El efecto producido es la aparición de un potencial eléctrico, V proporcional al gradiente térmico impuesto. La constante de proporcionalidad α_{XY} se denomina coeficiente termoeléctrico dado en V/K o $\mu\text{V/K}$ (*Ilustración 2*).

$$V = \int_{T_c}^{T_h} \alpha_{XY} \cdot dT = (\alpha_Y - \alpha_X) \cdot (T_h - T_c)$$

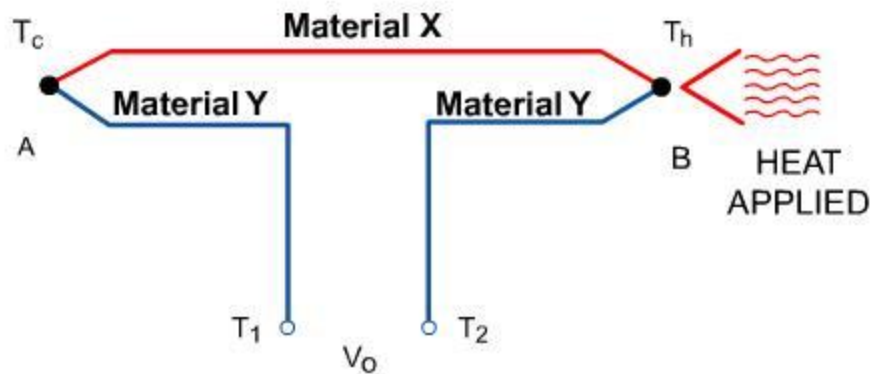


Ilustración 2 Circuito termoeléctrico Seebeck

3.1.2. Efecto Peltier

Cuando una corriente eléctrica circula a lo largo de un conductor no homogéneo, o cruza la unión entre dos materiales conductores distintos, se produce una absorción o cesión de calor al medio.

Las condiciones bajo las que se produce son:

- Conductor no homogéneo (o unión entre materiales conductores distintos) por el que circula una intensidad de corriente I generada por la aplicación de una tensión V_{in} .

El efecto producido es un flujo de calor transversal al conductor no homogéneo (o a la unión), de valor:

$$q_p = -I \cdot T(\alpha_X - \alpha_Y)$$

En la *Ilustración 3* se ilustra el efecto Peltier:

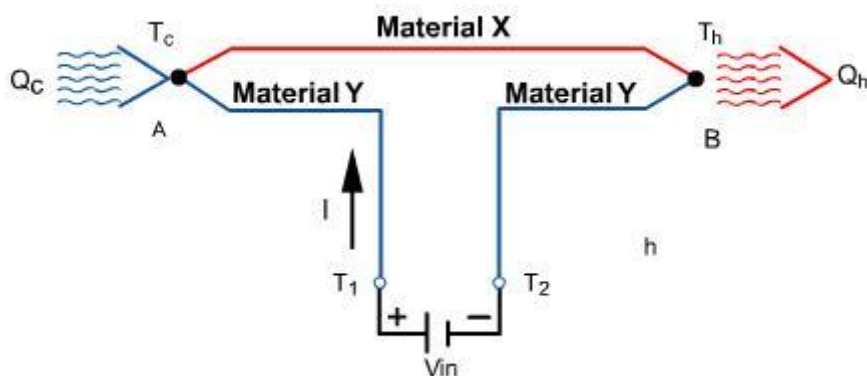


Ilustración 3 Circuito termoeléctrico Peltier

3.1.3. Efecto Joule y efecto Fourier

A continuación se da una breve introducción a dos efectos que también aparecen en los módulos termoelectrónicos y que no se han mencionado con anterioridad.

- **Efecto Joule:**

Este efecto es el fenómeno irreversible por el cual, si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones pasa a convertirse en calor por la resistencia de estos a través del medio (*Ilustración 4*).

La cantidad de energía calorífica E producida por una corriente eléctrica depende del cuadrado de la intensidad de la corriente I , del tiempo t que esta circula por el conductor y de la resistencia R que opone el mismo al paso de la corriente. Ello produce un flujo de calor transversal q :

$$E = V \cdot I \cdot t \rightarrow q_j = I^2 \cdot R$$

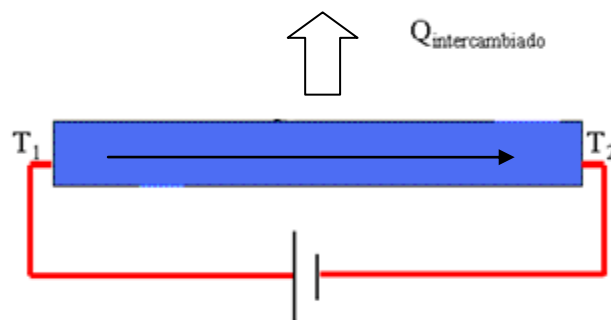


Ilustración 4 Esquema del efecto Joule

- **Efecto Fourier**

El efecto Fourier da lugar a un flujo de calor longitudinal (*Ilustración 5*) que aparece en un conductor térmico de conductividad térmica K en presencia de un gradiente de temperaturas ∇T , de valor:

$$q_f = \frac{K}{L} \cdot A_x \cdot \Delta T \quad T_1 > T_2$$

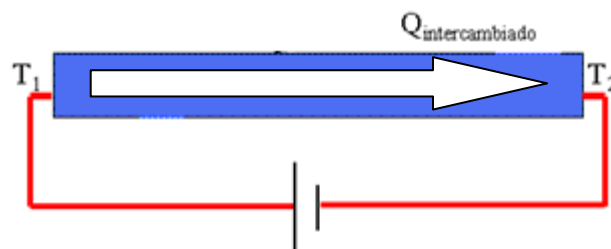


Ilustración 5 Esquema del efecto Fourier

3.1.4. Efecto Thomson

Efecto reversible en el cual se produce una absorción o cesión de calor al hacer circular una corriente eléctrica a lo largo de un conductor homogéneo sometido a un gradiente de temperaturas entre sus extremos (*Ilustración 6*). Como se acaba de mencionar, el efecto Thomson es reversible, es decir el flujo de calor cambia de sentido al cambiar el sentido de la intensidad.

Las condiciones bajo las que se produce son:

- Conductor homogéneo por el que circula una intensidad de corriente I
- Gradiente térmico ∇T entre sus extremos

El efecto producido es la aparición de un potencial eléctrico V_T , proporcional al gradiente térmico impuesto, que da un flujo calor q_T .

$$V_T = - \int_{T_2}^{T_1} T \cdot \frac{d\alpha}{dT} \cdot dT \rightarrow q_t = I \cdot V_T$$

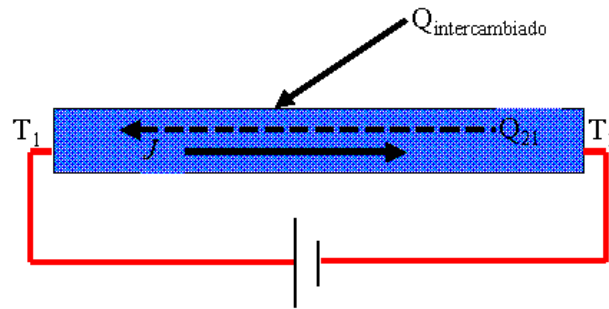


Ilustración 6 Esquema del efecto Thomson

3.2. MODELADO DE LA CÉLULA PELTIER

3.2.1. Módulos termoeléctricos

Los módulos termoeléctricos consisten en dos placas cerámicas enfrentadas, térmicamente conductoras pero aisladas eléctricamente del resto del conjunto, y entre ellas uniones de varios pares de semiconductores tipo p (huecos libres) y tipo n (cargas libres) conectados térmicamente en paralelo y eléctricamente en serie para aumentar la tensión eléctrica de operación del mismo.

Los semiconductores se conectan entre sí con materiales de alta conductividad, como el cobre (Cu), utilizando uniones soldadas con materiales con bajo punto de fusión para no dañar los termoelementos durante el proceso de soldadura. Como se comentaba con anterioridad, estos puentes eléctricos se encuentran aislados eléctricamente del objeto a refrigerar, para evitar cortocircuitos. Sin embargo, este material aislante eléctrico debe ser a la par buen conductor térmico para minimizar el salto térmico entre el par termoeléctrico y el objeto, lo cual podría llevar a una pérdida de rendimiento y al sobrecalentamiento de la célula y su rotura.

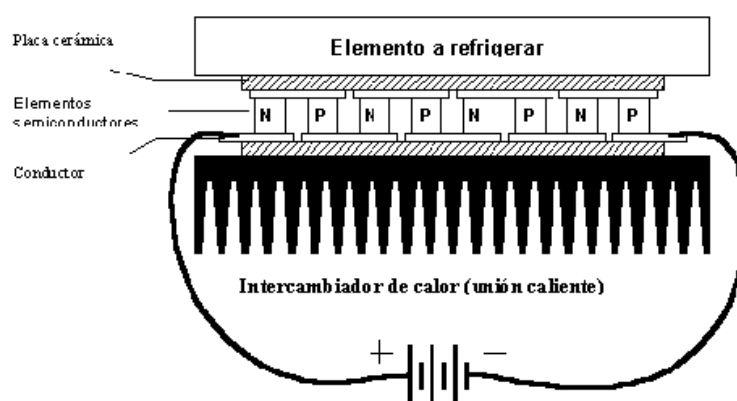


Ilustración 7 Conexión eléctrica módulo termoeléctrico

En las células Peltier, el funcionamiento consiste en hacer pasar una corriente por el circuito de uniones semiconductoras p-n y n-p (*Ilustración 8*), unas se calientan y otras se enfrían produciéndose un gradiente de temperatura entre las placas (*Ilustración 9*). Desde el punto de vista térmico, los elementos termoeléctricos actúan como una pequeña bomba de calor.

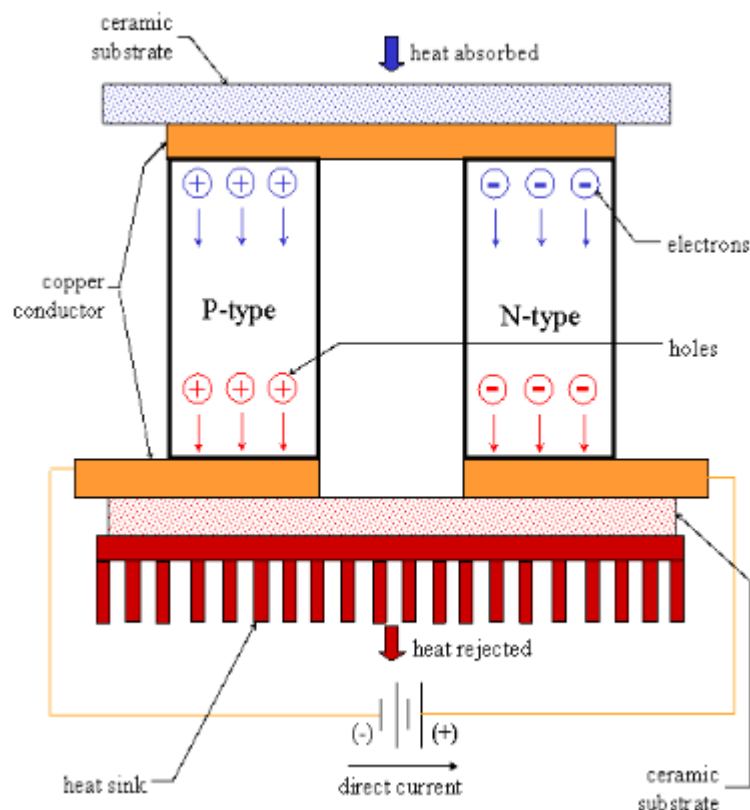


Ilustración 8 Funcionamiento térmico de las uniones semiconductoras

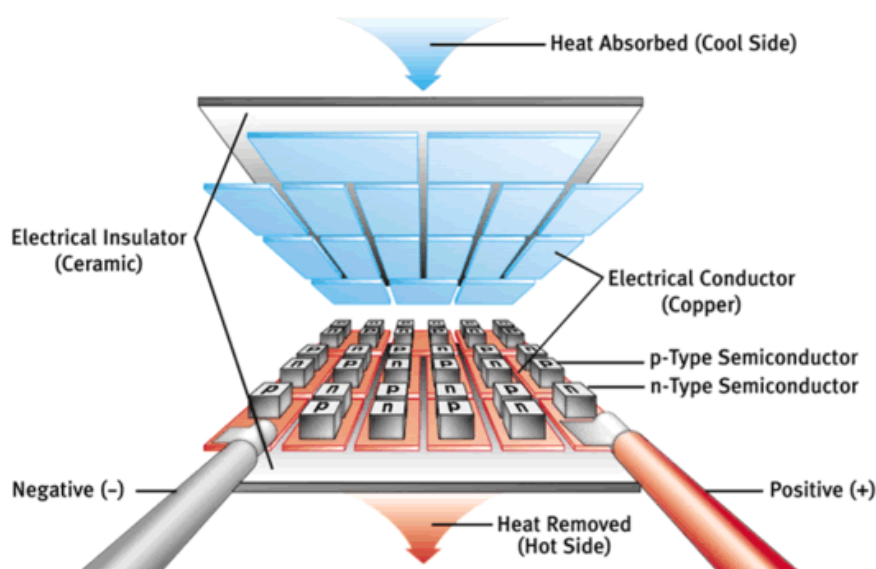


Ilustración 9 Módulo termoelectrico funcionando como refrigerador (<http://nergiza.com/>)

Debido a que los módulos termoelectricos es una tecnología que acaba de empezar a desarrollarse, en el mercado existen muchas clases de módulos. Los hay que se venden en conjuntos de dos o más elementos dispuestos en serie o en paralelo, existen células desde tamaños micrométricos hasta decímetros, con diferentes materiales cerámicos y semiconductores, y ello da una variedad muy amplia de características eléctricas y térmicas.

Por ello, es preciso conocer en qué condiciones ambientales va a trabajar el módulo termoelectrico y cuáles son los requerimientos técnicos de nuestro equipo y objetivos que se buscan alcanzar.

3.2.2. *Funcionamiento de los módulos termoelectricos*

Antes de pasar a la elección del dispositivo se tiene que comprender de qué parámetros eléctricos y térmicos dependen las células y definir algunas variables necesarias para su diseño.

Son cuatro las variables que definen el comportamiento del módulo:

- ΔT : diferencia de temperatura entre el lado caliente y el frio
- Q_c : cantidad de calor que el módulo puede extraer
- I : corriente que produce la diferencia de temperaturas entre los lados
- V : tensión aplicada al módulo

Definiremos también otras variables necesarias para el diseño:

- Q_{cN} : calor que se necesita extraer del sistema
- T_{LC} : temperatura plancha lado caliente
- T_{LF} : temperatura plancha lado frio
- COP (Coefficient of Performance): ratio de calor absorbido y alimentación de entrada

Estas variables están relacionadas entre sí como se muestra en la *Ilustración 10* y en la *Ilustración 11*. En la *Ilustración 10* se observa la relación existente entre la diferencia de temperatura de los lados ΔT y los amperios I demandados por el módulo a una temperatura ambiente de 25°C, cuanto mayor sea la intensidad, mayor será el ΔT . También se aprecia que cuando se decrementa Q_{cN} , calor necesario extraer del equipo, mayor diferencia de temperaturas ΔT se generará en los lados de la célula a una misma intensidad I de alimentación, y viceversa.

- $\uparrow I \rightarrow \uparrow \Delta T \quad \forall Q_c \text{ cte}$
- $\downarrow Q_c \rightarrow \uparrow \Delta T \quad \forall I \text{ cte}$

En la curva de la *Ilustración 11* se muestra la influencia de la intensidad de la corriente I en el voltaje V medido. Puede observarse cómo para Q_{cN} elevada, el voltaje V será inferior que para Q_{cN} inferior.

- $Q_{c1} > Q_{c2} \rightarrow V1 < V2 \quad \forall I \text{ cte}$

Se comprueba que teniendo estas dos curvas de comportamiento, conocidas dos variables, generalmente ΔT y Q_c , se puede obtener la corriente I y la tensión V necesarias para producir el incremento de temperatura deseado. Procediendo de forma contraria, ΔT y Q_c se obtienen para una corriente I y tensión V proporcionadas.

Como ejemplo, fijándonos en este caso, teniendo ΔT trazamos en la primera gráfica una línea horizontal hasta que corte con Q_c conocida, y desde ese punto tirando una línea

vertical, daremos con la intensidad I del sistema. Una vez hallada la intensidad, obtendremos de la gráfica a continuación, la tensión V con la siguiente relación:

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{BC}} = \frac{\overline{EF}}{\overline{FG}}$$

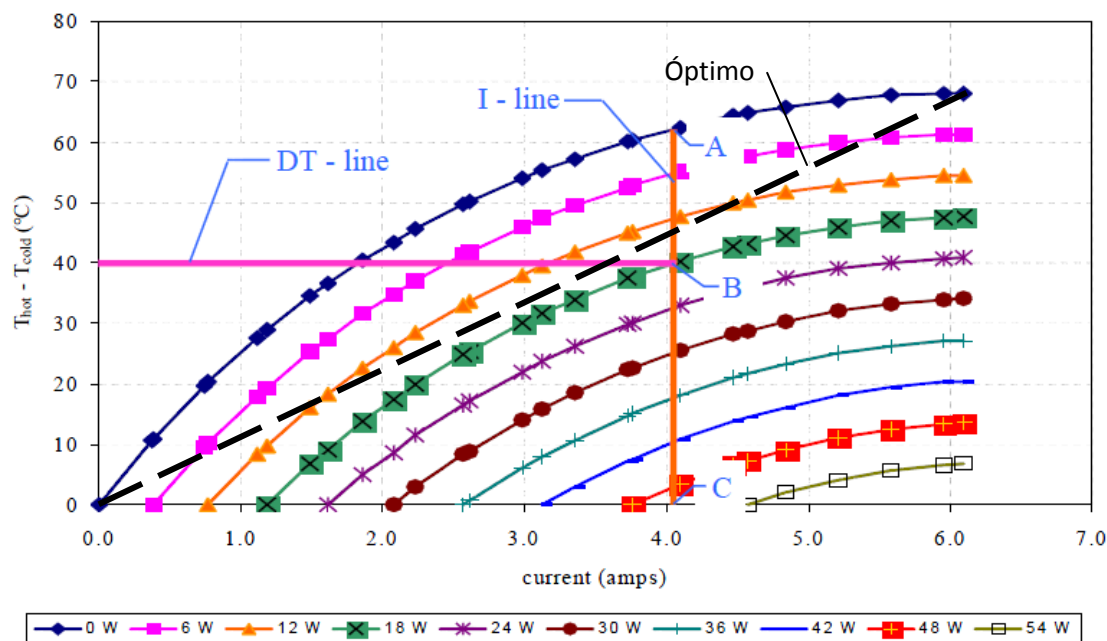


Ilustración 10 Ejemplo comportamiento célula Peltier a $T_{amb}=25^{\circ}\text{C}$ (<http://tetch.com/>)

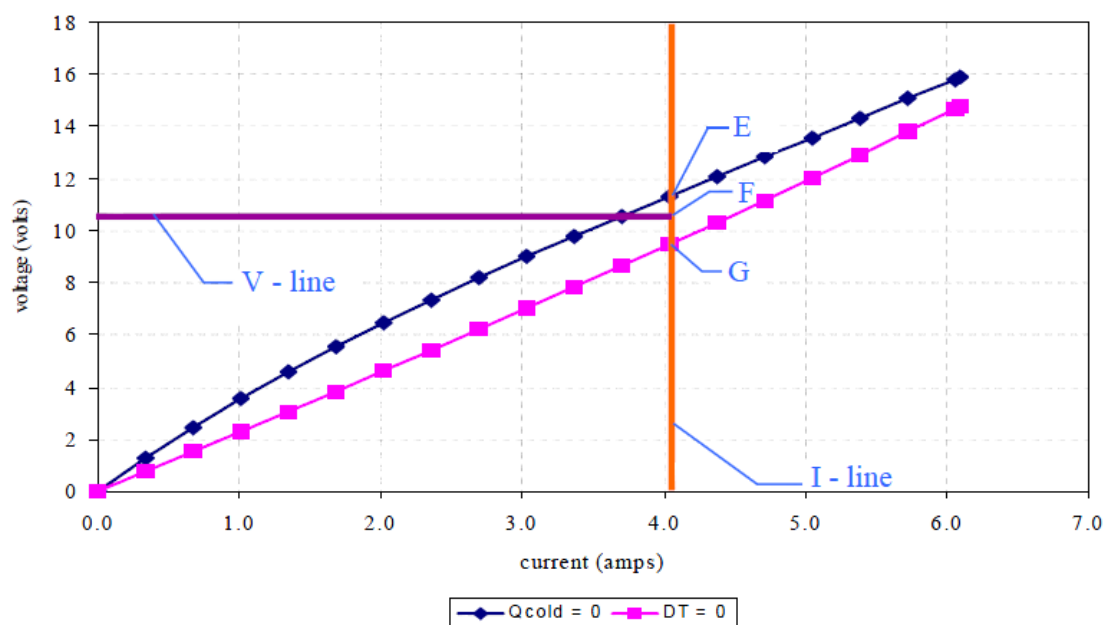


Ilustración 11 Ejemplo comportamiento célula Peltier a $T_{amb}=25^{\circ}\text{C}$ (<http://tetch.com/>)

Cabe destacar que estas gráficas representan el comportamiento ideal de las células, no obteniéndose estos resultados en la práctica. Es muy compleja la linealización de un módulo ya que depende de muchos factores, entre ellos los ambientales que muchas veces no son estables. La temperatura y la humedad del interior y exterior podrían ser algunos ejemplos de factores que modificarían el comportamiento de estos.

Además, la célula está conectada a un conjunto disipador formado por varios elementos, que térmicamente representan resistencias térmicas, y esto supone que a veces, el hecho de aumentar la intensidad eléctrica, no implique un aumento del calor absorbido al sistema.

3.2.3. Elección módulo termoelectrico

En el presente proyecto, hemos utilizado una célula Peltier de las siguientes características técnicas:

TLC (°C)	25	50	Temperatura lado caliente a Tamb
Δt max (°C)	70	79	Incremento de temperaturas entre lado frio y caliente cuando $Q_c=0$
V max (v)	16	17,2	Voltaje aplicado al módulo
I max (A)	10,1	10,1	Corriente consumida por el módulo
Q_c max (w)	101,1	110,5	Capacidad calorífica del módulo en el lado frio cuando $\Delta t=0$
Resistencia (Ω)	1,15 - 1,35	1,27 - 1,49	Resistencia del módulo testeado en AC

Tabla 3 Especificaciones técnicas célula 12710

Y sus características geométricas (en mm) son las siguientes:

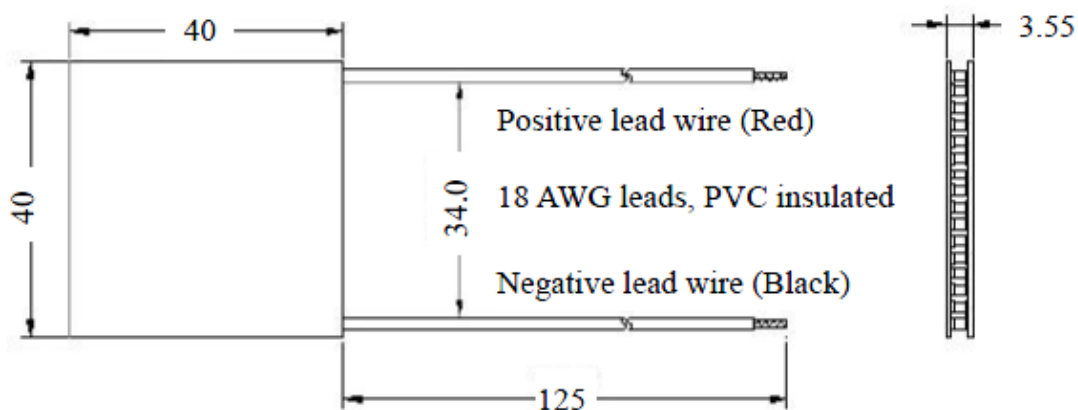


Ilustración 12 Dimensiones geométricas célula 12710

3.3. CONJUNTO TERMOELÉCTRICO DE REFRIGERACIÓN

Los módulos termoeléctricos, como se ha comentado con anterioridad, son capaces de generar una diferencia de temperatura entre sus lados y a su vez son capaces de bombear calor al alimentarlos con una corriente eléctrica. Pero para que este efecto se acabe produciendo, se necesita de un sistema de aislamiento que mantenga ambas caras protegidas de otros efectos de temperatura y a su vez un sistema de disipación que sea capaz de absorber y ceder calor al medio (*Ilustración 13*).

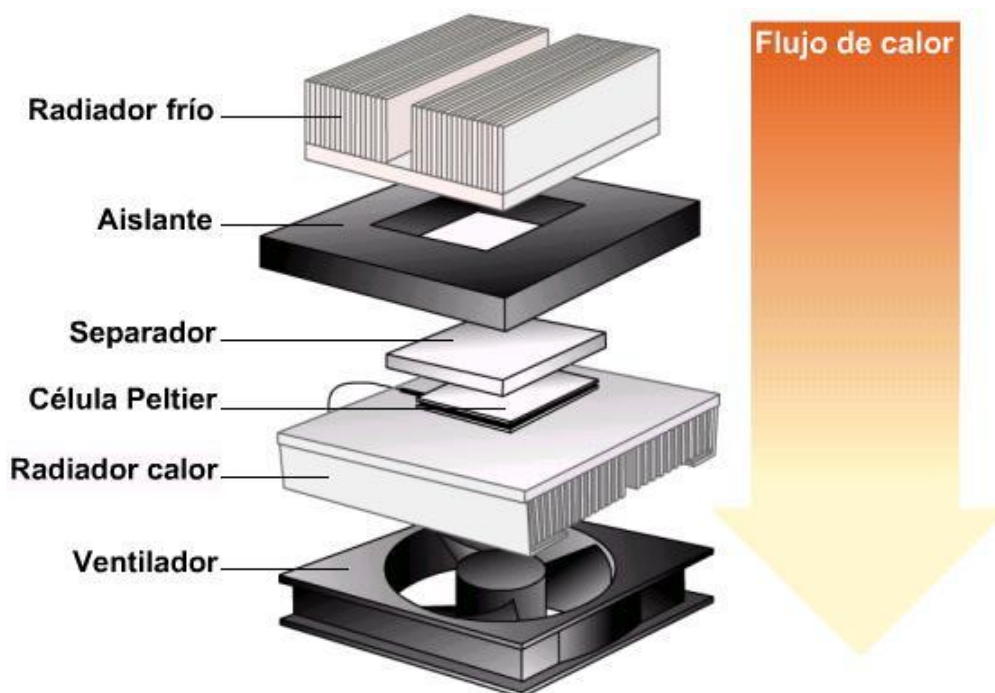


Ilustración 13 Disposición conjunto termoeléctrico

Y a continuación, la *Ilustración 14*, una muestra de simulación Cad 3D de cómo quedó el equipo térmico que se iba a emplear:

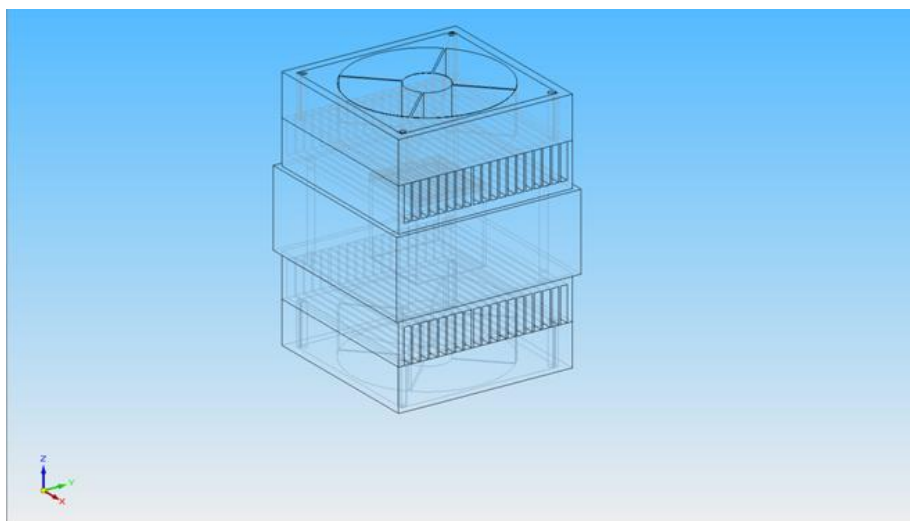


Ilustración 14 Prototipo 3D conjunto térmico

3.3.1. *Disipación. Conducción, convección y radiación*

Los módulos termoeléctricos son capaces de generar un flujo de calor y una diferencia de temperatura entre sus caras muy superior a la que son capaces de soportar. Ello hace indispensable la utilización de un equipo de disipación, ya que de no ser así, la célula se sobrecalentaría en cuestión de segundos y acabaría rompiéndose.

El conjunto disipador se basa en varios principios térmicos para exprimir al máximo la eficacia de la célula y evitar sobrecalentamientos. La conducción, la convección y la radiación son las principales formas de transferencia del calor presentes en la unidad disipadora, aunque sobre la radiación, debido a su baja influencia, no se parará a hablar de ella.

Hay tres elementos destinados a transferir el calor por conducción:

- Radiador calor: Radiador que se encuentra en el ambiente. Está en contacto directo con el lado caliente de la célula y es el radiador de mayor tamaño. En el presente proyecto, hemos seleccionado un radiador de aluminio (Al) de medidas 120*150*42 (mm) y compuesto por 24 aletas planas.
- Radiador frío: Radiador que se encuentra en el interior del espacio a refrigerar. Se encuentra en contacto con el separador y suele ser el radiador más pequeño del conjunto. En el presente proyecto se ha empleado un radiador de aluminio (Al) de medidas 98*105*24 (mm) y compuesto por 24 aletas planas.
- Separador: Tocho pensado para alejar los radiadores y conseguir que la influencia térmica de uno sobre otro sea despreciable. Se encuentra en contacto con el lado frío de la célula y con el radiador frío. En el presente proyecto se empleó un separador de aluminio de medidas 40*40*40 (mm), misma sección que el módulo termoeléctrico.
- Tornillos de unión: Su fin es el de unir ambos radiadores, lo que produce pérdidas.
- Pasta térmica conductora: utilizada en cada una de las conexiones entre metales para evitar zonas de no contacto con huecos de aire.

Y como ya se ha comentado previamente, se hace uso de la ventilación para conseguir una transferencia térmica por convección. En este caso, dos elementos:

- Ventilador calor: Ventilación apuntando axialmente a las aletas del radiador de calor pensada para aportar un mayor flujo y por tanto, ceder más calor al ambiente. En este caso se ha hecho uso de un ventilador axial helicoidal de 3,6w y medidas.
- Ventilador frío: No siempre es necesario pero para este caso se ha empleado. Ventilador centrífugo colocado previamente al radiador frío apuntando a la sección de las aletas. Su potencia es de 2,6w y sus medidas.

En resumen, térmicamente se nos queda un circuito tal que:

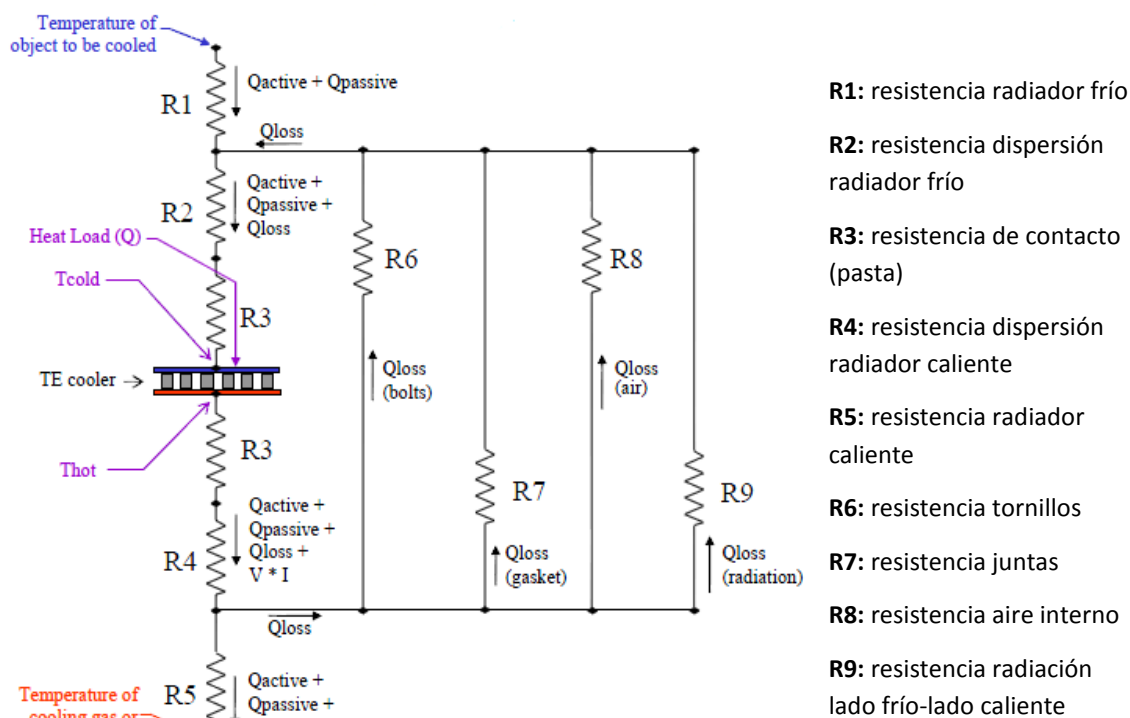


Ilustración 15 Circuito térmico de la unidad de refrigeración

3.3.2. Aislamiento y distribución calor

A continuación se hablará de una etapa fundamental para que el conjunto térmico funcione adecuadamente, el aislamiento y la acotación y distribución del calor.

Nuestro módulo termoelectrónico precisaba de un equipo de disipación para poder obtener un buen rendimiento de este y para evitar sobrecalentamientos y roturas de células. El aislamiento del conjunto es básico también para su correcto funcionamiento, ya que evita la interacción entre las distintas temperaturas de los componentes y la pérdida de calor del flujo generado.

La parte principal en todo conjunto es la representada como aislante en la *Ilustración 13*, pues su cometido es el de aislar térmicamente el radiador caliente del radiador frío. Pero en este caso, se fue más allá encapsulando todo el conjunto térmico a excepción del radiador y ventilador caliente. Esto permitió aumentar el rendimiento evitando pérdidas a través del aire y poder distribuir el calor desde ciertas zonas a otros puntos determinados (*Ilustración 16* e *Ilustración 17*).

En el presente proyecto, el aislante usado ha sido el poliestireno expandido de alta densidad (EPS). Dentro de los aislantes, es de los que tiene una de las más bajas conductividades, entre 0,06 y 0,03 W/m°C dependiendo de la densidad del material, y presenta ciertas propiedades mecánicas como su densidad o rigidez, además de su bajo coste y sencillez para trabajarlo que hicieron que fuese el más apropiado.

Por otro lado, cabe mencionar una interesante solución que consistió en aislar las partes en contacto con el metal de los tornillos de unión de los dos radiadores.

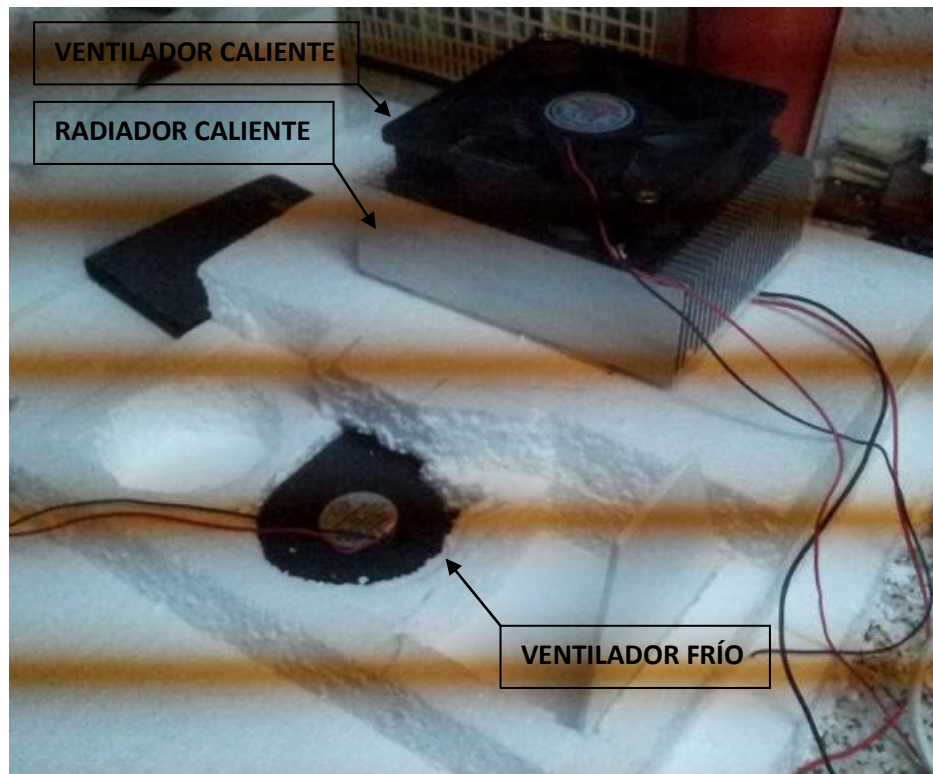


Ilustración 16 Equipo refrigerador encapsulado en aislante

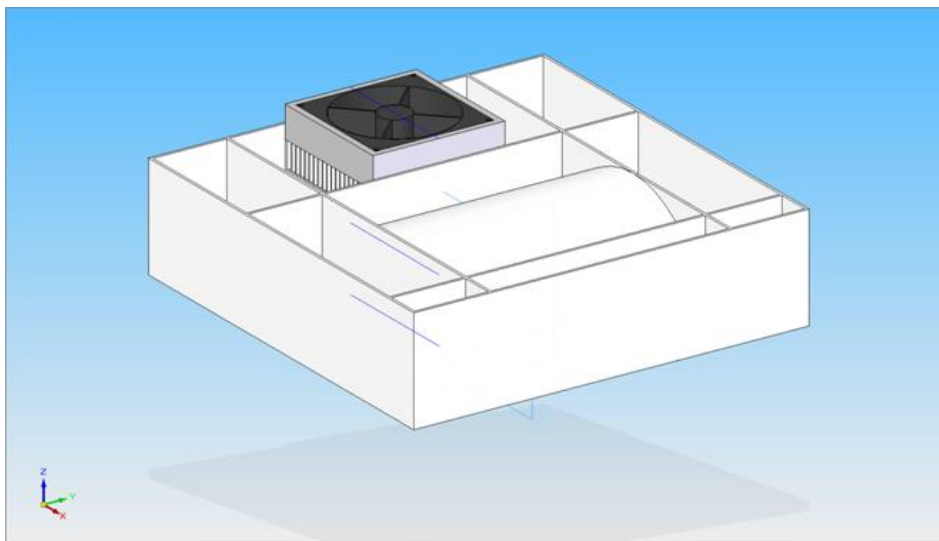


Ilustración 17 Friso 3D encaje conjunto termoelectrico

3.4. PROTOTIPOS DE PRUEBAS

Uno de los principales intereses en ejecutar el proyecto aquí presentado, fue buscando soluciones para controlar, siendo capaces de enfriar, los climas necesarios para mantener plantas y animales en casa. Por lo que, aparte de implementar el equipo térmico ya presentado y el dispositivo electrónico del que se hablará en próximos capítulos, se hizo necesario diseñar y construir varios prototipos de pruebas.

En el presente proyecto no se estudian las estructuras fabricadas pero si se mostrarán a continuación de cara a dar una perspectiva más amplia del objetivo y comprender el por qué de las soluciones que se van explicando.

En las imágenes mostradas *Ilustración 18* e *Ilustración 19* se ven dos prototipos diferentes en distintas fases de ejecución:



Ilustración 18 Vista Prototipo1 en dos fases de ejecución

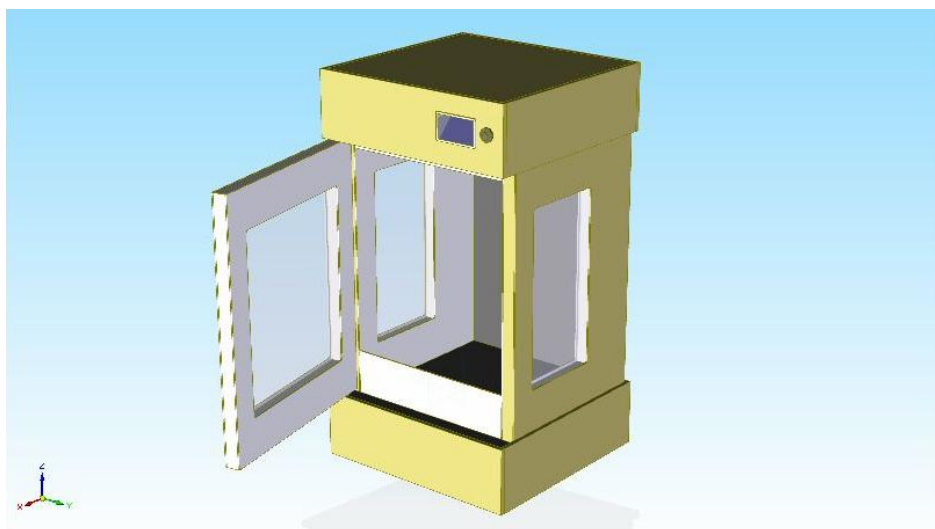


Ilustración 19 Vista diseño 3D Prototipo2

3.5. INVESTIGACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN ELÉCTRICA Y TÉRMICA

En el presente capítulo se analiza y resume un estudio termoeléctrico que se ha llevado a cabo para conocer mejor la influencia de las variables físicas externas sobre el módulo termoeléctrico. En los distintos experimentos se analiza el comportamiento eléctrico del módulo, la comparativa en distintos volúmenes y condiciones de trabajo del equipo y el comportamiento térmico, en diferentes ciclos de trabajo, del módulo.

Antes de pararnos a comprobar los resultados de los distintos experimentos, debemos conocer cuál era el equipo y urnas empleado y en qué condiciones básicas ambientales se hicieron.

En cuanto al material empleado:

- **Célula Peltier** 12-15v, 10A
- **Equipo térmico** descrito en capítulo anterior
- **Nevera 25**: nevera de cartón recubierta con 3 cm de grosos de poliestireno expandido (EPS) por todas sus caras. Dimensiones: 180*330*430 mm. Volumen interno: 25,5 L.
- **Nevera 50**: Nevera 1: nevera de cartón recubierta con 3 cm de grosos de poliestireno expandido (EPS) por todas sus caras. Dimensiones: 330*330*430 mm. Volumen: 47 L.
- **FC**: fuente de calor compuesta por bombilla compacta de 9w.
- **Sonda In**
- **Sonda Out**

Las condiciones ambientales en las que se han realizado los experimentos son:

- **Condiciones estables**: T^a ambiental templada sin cambios bruscos, humedad ambiental baja y sin corrientes .
- **Condiciones extremas**: T^a ambiental extrema con cambios bruscos.
 - **Frías**: T^a exterior en torno a los 0º-10ºC, con humedad relativa media y con corrientes bajas.
 - **Cálidas**: T^a en torno a los 30º-40ºC, con humedad relativa baja y con corrientes muy altas.

3.5.1. Resultados eléctricos

Realizados en la nevera de menor tamaño, *Nevera 1*, se comprueba cuál es el comportamiento eléctrico del módulo y térmico de la urna, a los cambios de alimentación de voltaje (12 o 15v) en un *ambiente estable* con una caída discreta de las temperaturas. En el caso de la *Ilustración 20*, el ventilador frío no es encontraba trabajando.

Los resultados obtenidos para el primer experimento se representan en las siguientes *Ilustración 20* e *Ilustración 21*. Para la siguiente prueba se metió la fuente de calor FC, de 9w, dentro de la urna y los resultados se ven en la *Ilustración 22*:

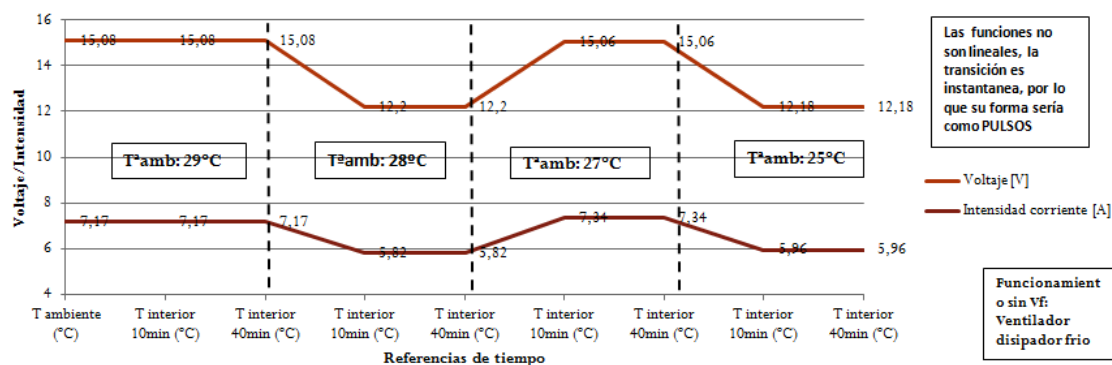


Ilustración 20 Comportamiento corriente I a distintos voltajes V en el tiempo

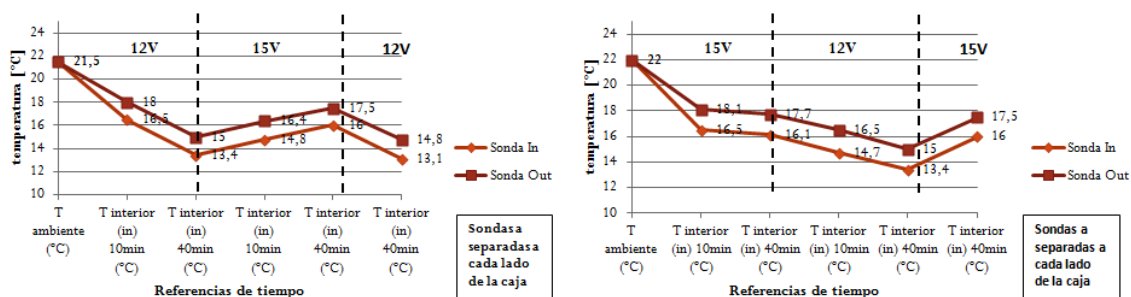


Ilustración 21 Comportamiento Tª a cambios de voltaje V en el tiempo

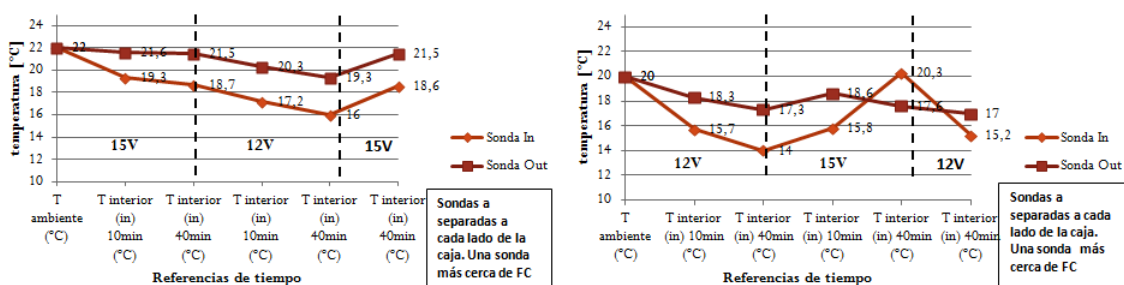


Ilustración 22 Comportamiento Tª a cambios de V en el tiempo, con fuente de calor

De las ilustraciones adjuntadas, sacamos varias conclusiones:

- La célula Peltier alimentada a 15V consume una intensidad eléctrica de 7,1-7,3(A) para una Tª ambiente de entre 25-30(°C). Por lo que trabaja a unos 110W.
- La célula Peltier alimentada a 12V consume una intensidad eléctrica de 5,8-6,0(A) para una Tª ambiente de entre 25-30(°C). Por lo que trabaja a unos 70W.
- Estos consumos de intensidad eléctrica crecen a medida que transcurre el tiempo ya sea por el descenso de la Tª ambiente o por el aumento del ΔT entre el ambiente y el interior del recipiente.
- La célula Peltier cuando está alimentada a 15V, mayor consumo eléctrico, es capaz de generar un ΔT máximo entre los ambientes, menor que cuando se alimenta a 12V, menor consumo eléctrico, a una Tª ambiental de 21-22 (°C):

$$\Delta T \max|_{12V} > \Delta T \max|_{15V}$$

- La nevera con la fuente de calor FC de 9W dentro también cumple la ecuación descrita arriba. En este caso, las diferencias entre los ΔT de los distintos voltajes de alimentación, son mayores aún. Hasta llegarse a dar el caso de superar la T^a ambiental con la alimentación a 15V.

3.5.2. Comparativa resultados térmicos

Las siguientes pruebas se han realizado en ambas neveras, Nevera 25 y Nevera 50, las cuáles son comparadas para evaluar la influencia de los distintos ambientes y la cantidad de volumen sobre el que se trabaja con la temperatura.

Estas pruebas fueron realizadas en condiciones estables *Ilustración 23*, y haciendo uso de una fuente de calor en el interior de la nevera en uno de los experimentos (*Ilustración 24*). También se hicieron en condiciones extremas cálidas *Ilustración 25* y extremas frías *Ilustración 26*.

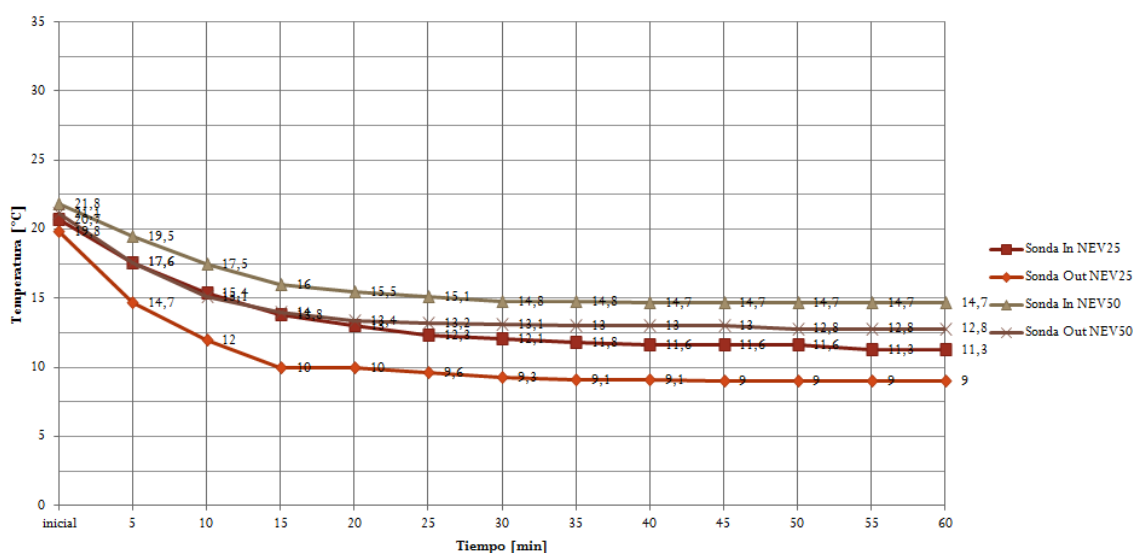


Ilustración 23 Temperatura estable sin FC

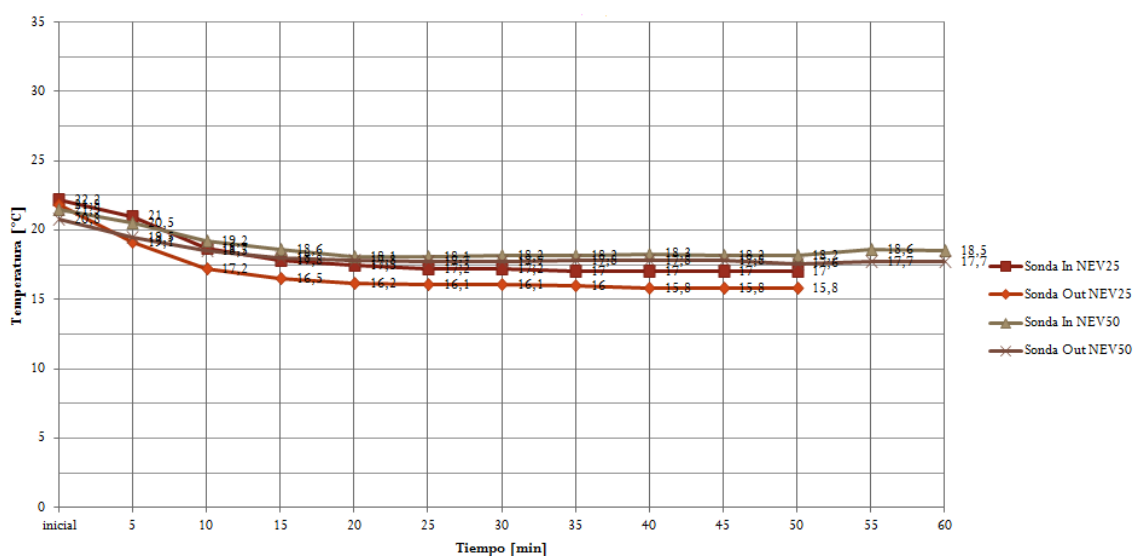


Ilustración 24 Temperatura estable con FC interna

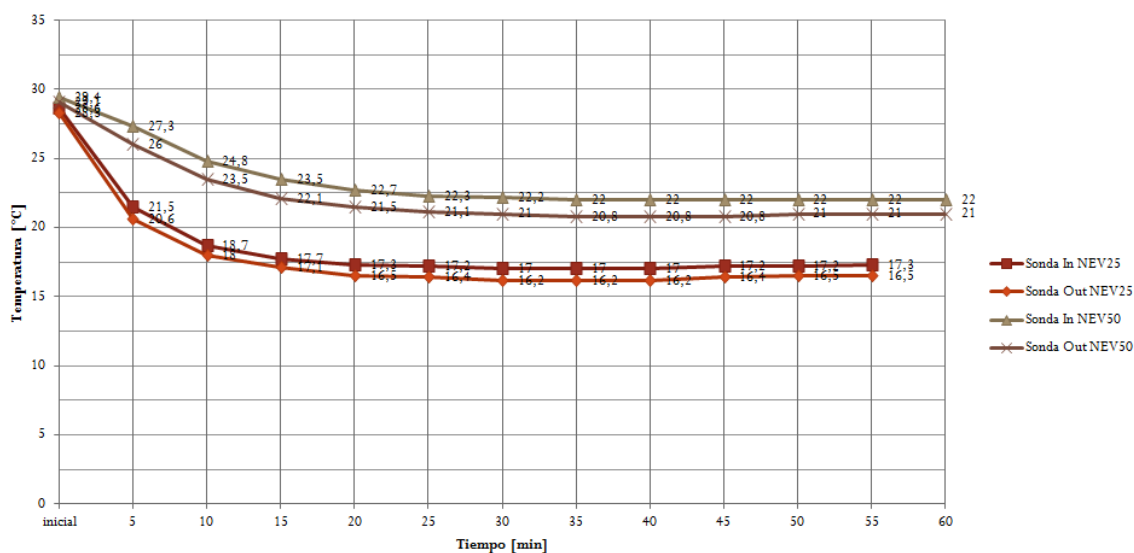


Ilustración 25 Temperatura extrema cálida

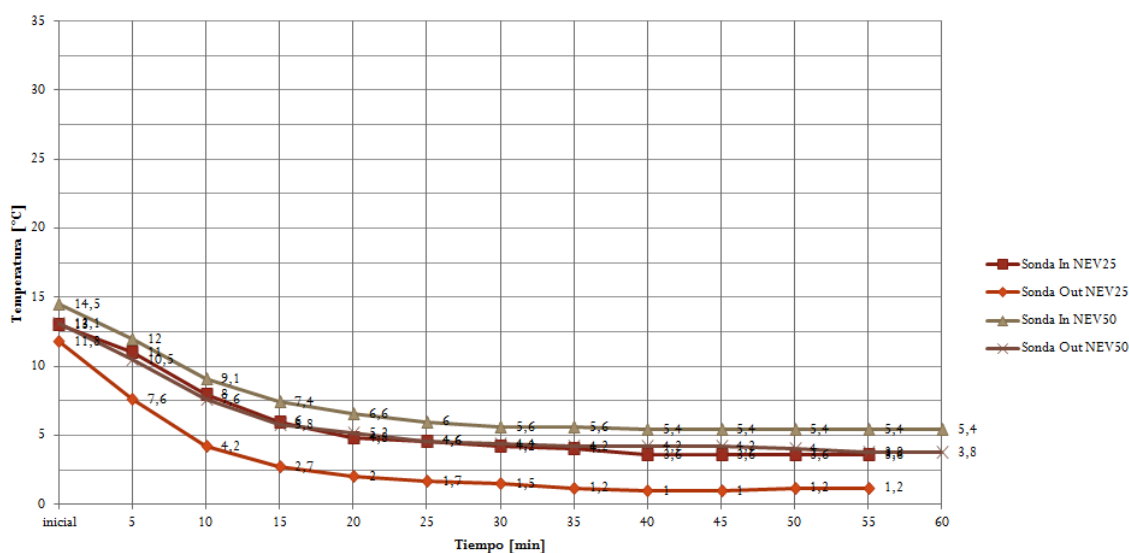


Ilustración 26 Temperatura extrema fría

3.5.3. Comparativa resultados ciclos de trabajo

A continuación se verán los experimentos para comprobar qué ocurriría en las dos neveras, Nevera 25L y Nevera 50L, manteniendo las condiciones eléctricas de 12v y unos 5A, en el caso de aplicarle unos ciclos de trabajo del 50% al módulo termoelectrónico.

En la primera prueba no se ha hecho uso de una fuente de calor dentro de las neveras Ilustración 27 y en las siguientes sí que se hizo uso de la fuente de calor FC dentro de las dos neveras Ilustración 28.

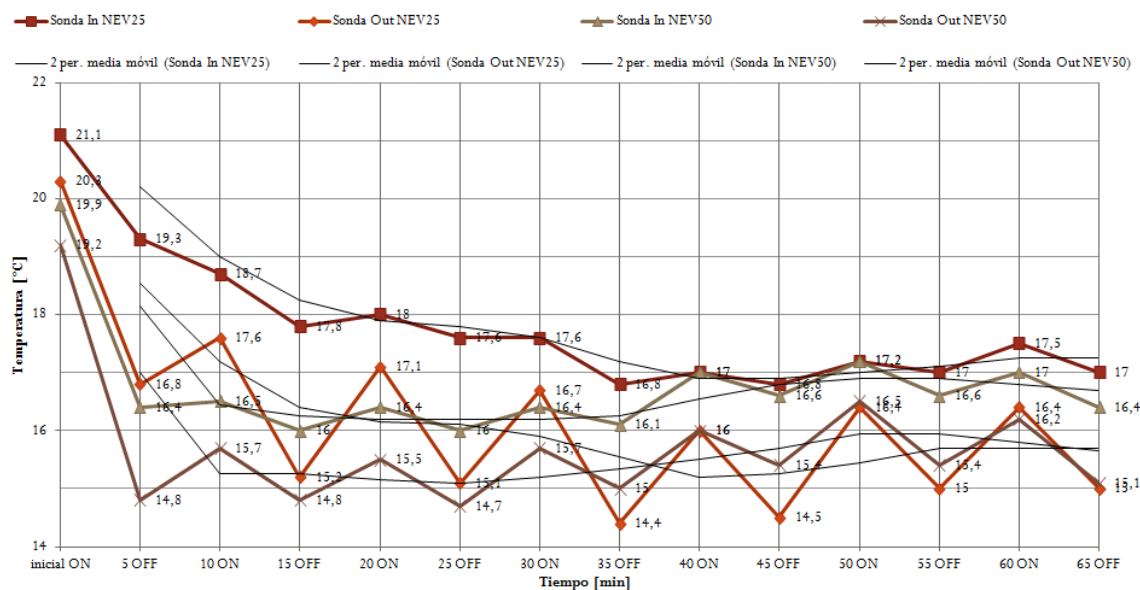


Ilustración 27 Ciclo de trabajo 50% sin FC

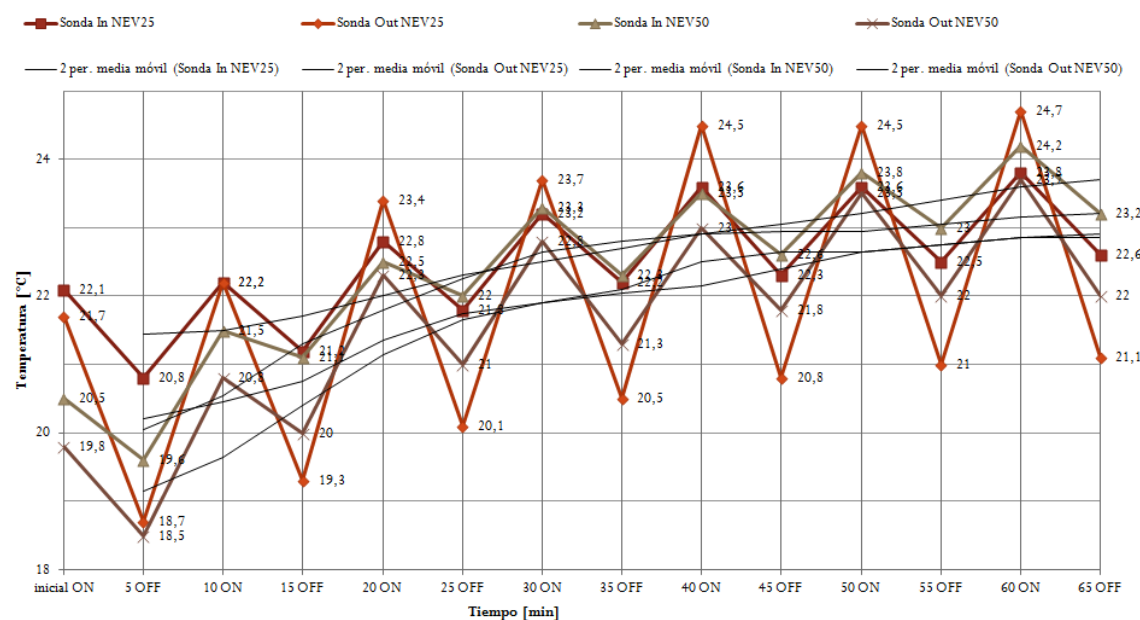


Ilustración 28 Ciclo de trabajo 50% con FC

3.5.3. Comparativa resultados ciclos de trabajo máximos

Para concluir con las pruebas térmicas, se verificó en un ambiente estable, libre de fuentes de calor o convecciones, y a una temperatura templada de 22°C, cuáles eran los resultados para un ciclo de trabajo máximo en ambas direcciones, tanto enfriando, como calentando.

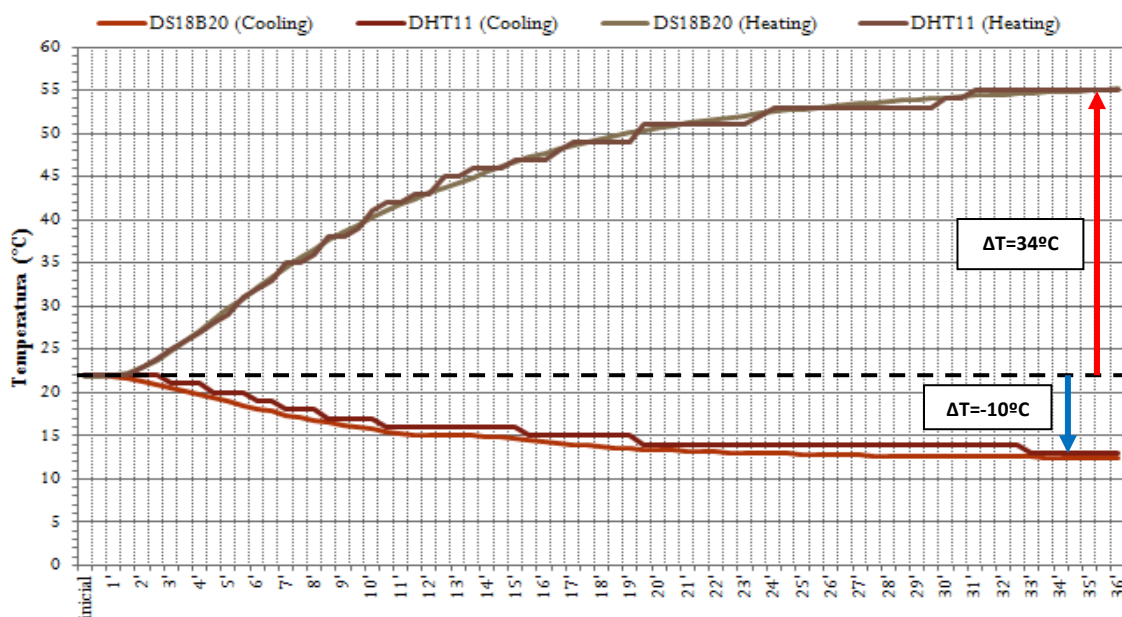


Ilustración 29 Ciclo de trabajo 100% Enfriando/Calentando

Para el caso de la célula Peltier en modo refrigeración (Cooling), el sistema logró aproximadamente un $\Delta T = -10^{\circ}\text{C}$ en un tiempo de 36 minutos, aunque cabe destacar que el 50% de ese incremento (-5°C) se consiguió en un tiempo aproximado de unos 9 minutos. En estas condiciones, el sistema trabajaba en un voltaje de 12v y comenzó con una corriente de 6,2A que pronto se estabilizó en 6A, lo cual daba una potencia de trabajo de 72w. El consumo eléctrico (C) para lograr el mínimo de temperatura que se logró en 36min se verá a continuación:

- $\Delta T_{Cool} = -10^{\circ}\text{C}$
- $Pot_{Cool} = 72\text{W}$
- $t_{Cool} = 36\text{min} = 0,6\text{h}$
- $C_{Cool} = Pot_{Cool} * t = 72\text{ W} * 0,6\text{h} = 43,2\text{Wh}$

En el caso del módulo termoelectrico funcionando en modo calentador (Heating), el sistema alcanzó aproximadamente un $\Delta T = 34^{\circ}\text{C}$ en un tiempo de 36 minutos, llegando al 50% del incremento (17°C) de nuevo en unos 9 minutos. Con estos resultados, el equipo estuvo alimentado a una tensión de 12v y comenzó a trabajar con una corriente de 6A que en poco tiempo pasó a ser de 4,8A, por lo que el sistema trabajó a una potencia de unos 58w. El consumo eléctrico (C) para lograr el incremento de 34°C en 36 minutos queda expresado abajo:

- $\Delta T_{Heat} = 34^{\circ}\text{C}$
- $Pot_{Heat} = 58\text{W}$
- $t_{Heat} = 36\text{min} = 0,6\text{h}$
- $C_{Heat} = Pot_{Heat} * t = 58\text{ W} * 0,6\text{h} = 34,8\text{Wh}$

Como se puede ver en las ecuaciones anteriores, el consumo refrigerando es superior. Otra de las conclusiones que podemos destacar es que bajo una temperatura ambiente estable de 22°C , generar una subida o bajada de un grado de temperatura en el sistema nos

cuesta diferentes vatios dependiendo del modo de funcionamiento de la célula. Y en sintonía con esto y como es lógico, de nuevo es el modo refrigerador el que depende de más vatios para producir un incremento de un grado en el sistema de estudio.

- $Cooling_{0-50\% \Delta T_{max}} = 133,2 \frac{W \cdot min}{^{\circ}C}$ $Cooling_{0-100\% \Delta T_{max}} = 266,4 \frac{W \cdot min}{^{\circ}C}$
- $Heating_{0-50\% \Delta T_{max}} = 30,7 \frac{W \cdot min}{^{\circ}C}$ $Heating_{0-100\% \Delta T_{max}} = 61,4 \frac{W \cdot min}{^{\circ}C}$

A continuación, se realizará una modelización aproximada de la función temperatura para los regímenes de trabajo máximo en el modo enfriamiento y calentamiento:

○ Modelización temperatura

De los resultados vertidos en la anterior figura, se destacarán ciertos datos para modelizar la función de comportamiento de la temperatura tanto para el caso de enfriamiento como de calentamiento, en su máximo ciclo de trabajo y a una temperatura ambiental estable de 22°C.

- Temperatura inicial: $T_o = 22^{\circ}C = T_{amb}$
- Tiempos: $t_1 = 9'$ y $t_2 = 36'$
- Temperaturas modo calentamiento: $T_{1Heat} = 39^{\circ}C$ y $T_{2Heat} = 56^{\circ}C$
- Temperaturas modo enfriamiento: $T_{1Cool} = 17^{\circ}C$ y $T_{2Cool} = 12^{\circ}C$

Con estos datos, e intuyendo que clase de función será, que parece ser raíz de una cuadrática, $y = b\sqrt{x} + c$, obtendremos una expresión modelo de comportamiento:

- Comportamiento T en modo calentador:

$$T_{Heat} = b\sqrt{t} + c$$

Si $t_o = 0'$, entonces: $T_{oHeat} = c \rightarrow c = 22$

Si $t_1 = 9'$, entonces: $T_{1Heat} = b\sqrt{9} + 22 \rightarrow b = \frac{39^{\circ}C - 22^{\circ}C}{\sqrt{9}} \rightarrow b = 5,67^{\circ}C/\min$

Se comprueba, si $t_2 = 36'$, entonces: $T_{2Heat} = b\sqrt{36} + 22 \rightarrow b = \frac{56^{\circ}C - 22^{\circ}C}{\sqrt{36}} = 5,67^{\circ}C/\min$

Por lo que la función quedará definida:

$$T_{Heat} = 5,67^{\circ}C/\min \sqrt{t} + T_{amb}$$

- Comportamiento T en modo refrigerador:

$$T_{Cool} = b\sqrt{t} + c$$

Si $t_o = 0'$, entonces: $T_{oCool} = c \rightarrow c = 22$

Si $t_1 = 9'$, entonces: $T_{1Cool} = b\sqrt{9} + 22 \rightarrow b = \frac{17^{\circ}C - 22^{\circ}C}{\sqrt{9}} \rightarrow b = -1,67^{\circ}C/\min$

Se comprueba, si $t_2 = 36'$, entonces: $T_{2Cool} = b\sqrt{36} + 22 \rightarrow b = \frac{12^{\circ}C - 22^{\circ}C}{\sqrt{36}} = -1,67^{\circ}C/\min$

Por lo que la función quedará definida:

$$T_{Cool} = -1,67^{\circ}C/\min \sqrt{t} + T_{amb}$$

Como era de esperar, la pendiente b en el modo calentador es muy superior a la pendiente obtenida en el modo refrigerador, he ahí la diferencia de consumo y rendimiento entre los dos modos de funcionamiento.

Este comportamiento queda modelizado, como se comentaba anteriormente, para una temperatura ambiente estable de 22°C, no obteniéndose las mismas ecuaciones para ambientes muy desviados de la temperatura ambiental estándar de 25°C, y en los que se den factores críticos como la convección del viento o la exposición al Sol.

4. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA: SENSORES

Se emplean dos sensores diferentes para medir la humedad y la temperatura. El sensor DS18B20 es más preciso y con mayor sensibilidad que el DHT11, por lo que la medida de temperatura de referencia en el programa será la que da esta sonda. En cambio no tiene higrómetro, por lo que la medida de humedad de referencia la dará la sonda DHT11.

- Sonda DS18B20:
 - Sensor temperatura: t° referencia en el programa
- Sonda DHT11:
 - Sensor temperatura
 - Sensor humedad: h% referencia en el programa

A continuación se verán más en detallan estas dos sondas, con un breve resumen de datos técnicos, conexionado pines y la forma de comunicación que emplean.

4.1. TERMÓMETRO DS18B20

El sensor de temperatura DS18B20 está compuesto por un transductor semiconductor de silicio encargado de realizar las lecturas del medio. Es un sensor hermético, válido para tomar mediciones tanto en el aire como en el agua, lo que justifica su uso en ambientes muy húmedos.

Entre sus principales características cabe destacar que tiene un rango de operación de -55 a 125°C con una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ sobre el rango de -10 a 85°C y que tiene una resolución modificable de 9 a 12 bits.

Es un sensor digital formado por tres pines, VDD, GND y una única línea de datos para la comunicación con el microprocesador. Este sensor puede ser alimentado por una fuente externa o directamente por la energía entregada del micro. En este caso se va a alimentar externamente con una batería, ya que esto simplifica las funciones de transmisión/recepción de datos con el micro y a su vez hace que las mismas sean más veloces.

La comunicación la realiza gracias al bus 1-wire y su protocolo de actuación, que permite comunicar distintos dispositivos, controlados por el microprocesador, simultáneamente, a través de su código serie único. La línea de control necesita una resistencia de Pull-up, ya que todos los dispositivos conectados al bus están vinculados a través de un puerto Open Drain. En el presente proyecto esta característica no es útil pues únicamente hay una sonda de temperatura.

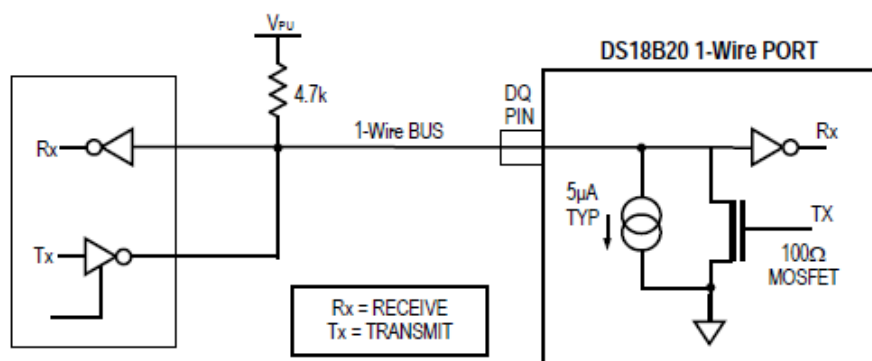


Ilustración 30 Esquema de conexión DS18B20

El DS18B20 tiene una resolución de 9 bits, que corresponden a pasos de $0,5^{\circ}\text{C}$. El mismo envía primero 8 bits (de LSB a MSB) los cuales indican la temperatura y luego otros 8 bits que son “ceros” en caso de que la temperatura sea positiva y “unos” en caso de que la temperatura sea negativa.

4.1.1. Medición temperatura DS18B20

Cuando el sensor es iniciado, arranca en un estado de reposo (bajo consumo) y su único bus de transmisión actúa siempre como Esclavo. El Maestro, el microprocesador, debe enviar los datos necesarios para que el sensor sepa que se lo está inicializando, los datos requeridos para que convierta la temperatura que está tomando y los datos requeridos para que transmita la temperatura que convirtió.

Los datos de salida del DS18B20 están en grados centígrados. La temperatura obtenida es almacenada como un número en complemento A2. En la siguiente *Tabla 4* se pueden ver ejemplos de datos de salida y la correspondiente lectura de temperatura.

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
LS BYTE	2^3	2^2	2^1	2^0	2^1	2^2	2^3	2^4
	BIT 15	BIT 14	BIT 13	BIT 12	BIT 11	BIT 10	BIT 9	BIT 8
MS BYTE	S	S	S	S	S	2^5	2^5	2^4

S = SIGN

Tabla 4 Formato de registro de la temperatura en el DS18B20

Bit 15 a bit 11 = Signo de la temperatura

Bit 10 a bit 3 = temperatura

Todos los intercambios deben comenzar con una secuencia de inicialización. La secuencia de inicialización consiste de un pulso de reset transmitido por el maestro y seguido de un pulso de presencia transmitido por el esclavo. El pulso de presencia le permite al maestro saber que el dispositivo está presente y listo para operar.

Durante la secuencia de inicialización el maestro transmite (Tx) el pulso de reset forzando al bus 1-wire a cero durante un mínimo de $480\mu\text{s}$. Luego, el maestro libera el bus y entra en modo recepción (Rx). Cuando el bus es liberado, la resistencia de Pull-up de $5\text{k}\Omega$ fuerza el bus a uno. Cuando el DS18B20 detecta este flanco ascendente, espera entre 15 y

60 μ s y entonces transmite el pulso de presencia forzando el bus a cero durante aprox. 60 a 240 μ s.

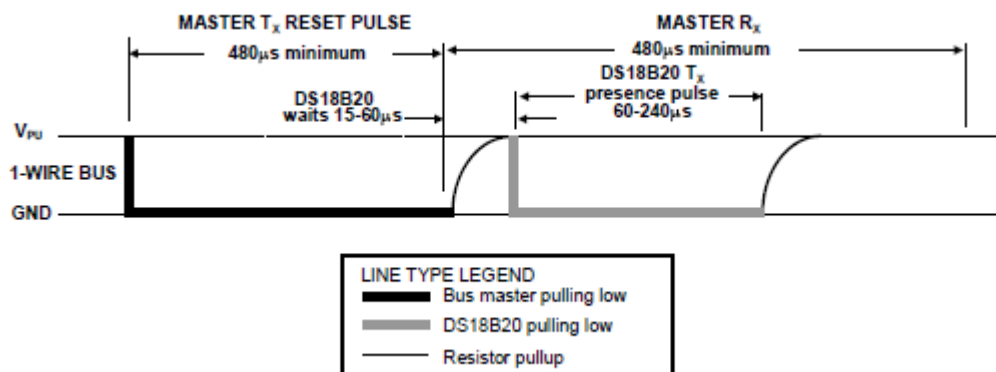


Ilustración 31 Tiempos de inicialización DS18B20

Tras haber detectado el pulso de presencia, este puede realizar un pedido de comando ROM. Estos comandos permiten al maestro determinar cuántos dispositivos y de qué tipo están presentes en el bus. Como solo se conecta 1 sensor, no es necesario comunicarse con este por medio de la rom, por lo que el único comando que se va a utilizar es el siguiente:

- **SKIP ROM [CCh]:** El maestro puede usar este comando para direccionar todos los dispositivos simultáneamente sin enviar ninguna información de código ROM. Por ejemplo, el maestro pedir que todos los DS18B20 en el bus realicen una conversión de temperatura enviando un comando SKIP ROM seguido por un CONVERT T [44h].

Después de que el maestro del bus haya enviado un comando ROM para direccionar al DS18B20 con el cual desea comunicarse, el maestro puede enviar un comando de función al sensor. Estos comandos le permiten al maestro escribir o leer de la memoria interna del DS18B20, iniciar una conversión de temperatura o determinar el modo de alimentación. Los que se van a utilizar en el caso aplicado se nombran a continuación:

- **CONVERT T [44h]:** Este comando inicia la conversión de temperatura. Seguido de la conversión, el dato de temperatura será almacenado en los registros de temperatura de la memoria scratchpad y el DS18B20 volverá a su estado de reposo.
- **READ SCRATCHPAD [Beh]:** Este comando permite al maestro leer el contenido de la memoria scratchpad (memoria en la cual se almacenan los datos obtenidos de temperatura y signo). La lectura comienza con el bit menos significativo del LS byte y continua a través de la memoria scratchpad hasta el noveno bit (MS byte). El maestro debería hacer un pedido de reset para terminar la lectura en cualquier momento.

4.1.2. Comunicación 1-Wire DS18B20

Se debe tener en cuenta antes de empezar a trabajar sobre la señal, que todos los intervalos de tiempo de lectura deben tener un mínimo de 60 μ s de duración con un mínimo de 1 μ s de recuperación entre intervalos.

Un intervalo de lectura es inicializado por el maestro del bus forzando el canal a baja impedancia, por un tiempo mínimo de $1\mu s$, para luego liberarlo. Después de que el maestro inicializa el intervalo de lectura, el DS18B20 comenzará a transmitir un 1 o un 0 a través del bus. El sensor transmite un uno dejando el bus en alta impedancia y transmite un cero forzando el bus a baja impedancia. Cuando transmite un cero, el DS18B20 liberará el bus sobre el final del intervalo de tiempo, y el bus será forzado nuevamente a su estado de alta impedancia por la resistencia de Pull-up. Los datos de salida del DS18B20 son válidos $15\mu s$ después del flanco descendente que inicia el intervalo de tiempo de lectura. Entonces, el maestro debería liberar el bus y muestrear el estado del bus dentro de los $15\mu s$ después del comienzo del intervalo.

A continuación se muestran intervalos de lectura y escritura ejemplo, *Ilustración 32*:

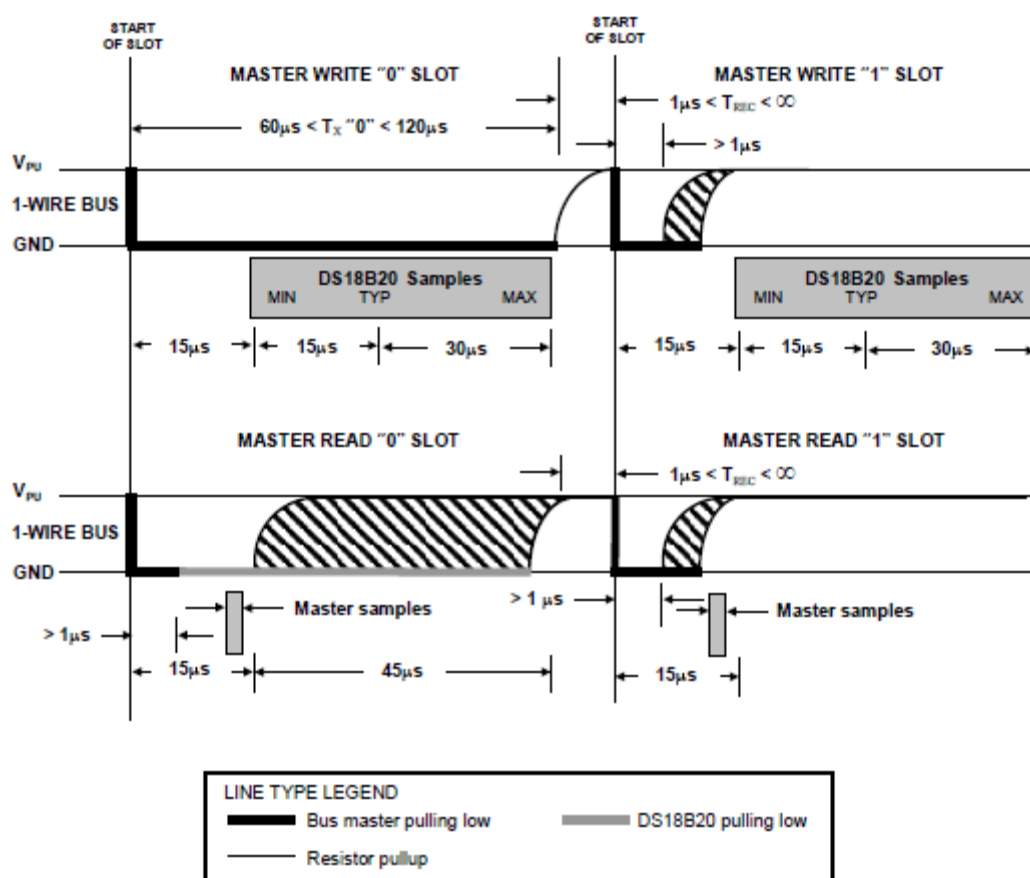


Ilustración 32 Diagramas de tiempo de Lectura/Escritura del DS18B20

4.1.3. Señal de comunicación DS18B20

En la parte del desarrollo se verá como inicializar y configurar el temporizador que controla la lectura de las sondas estudiadas en este capítulo. A continuación, se ve la señal de control que se diseña para el manejo del DS18B20 y la respuesta del sensor, que nos indica la temperatura medida.

Como lo explicado anteriormente, primero se manda un Reset al sensor de $500\mu s$ más $500\mu s$, se le envían las funciones Skip Rom y Read Scratchpad y posteriormente el sensor

contesta con la lectura del dato de temperatura. Se finaliza la comunicación con otro Reset seguido de las funciones Skip Rom y Convert T.

En la siguiente imagen veremos una copia de pantalla del osciloscopio conectado al pin del sensor DS18B20 (canal 4, fucsia) y de una señal auxiliar (canal 1, amarillo) para verificar cuándo se hace la lectura de los datos. Como se puede ver en la figura, la duración de la señal desde la inicialización hasta el final de la lectura, es de $\Delta x = 4\text{ms}$, lenta, pero hay que tener en cuenta que la lectura de datos se está haciendo con una resolución de 12bits.

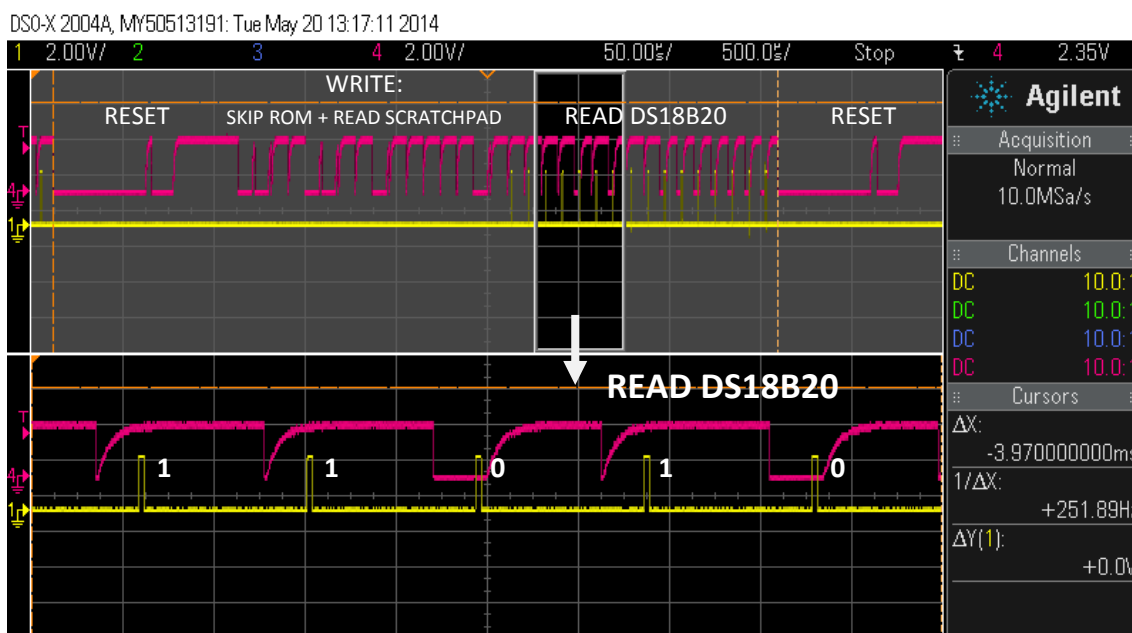


Ilustración 33 Captura pantalla osciloscopio DS18B20

En este protocolo de comunicación, los datos se indican de una forma muy sencilla, cuando salta la señal auxiliar, momento en que se hace la lectura, si corta con la señal de la sonda en nivel bajo es “0”, y cuando corta con ella a nivel alto es “1”.

4.2. TERMOHIGRÓMETRO DHT11

El dispositivo DHT11 está constituido por un sensor resistivo termistor (NTC) para leer la temperatura y un sensor resistivo RTD para la humedad. Ambos sensores están calibrados, por lo que no es necesario añadir ningún circuito de tratamiento de señal. Esto, fue una de las motivaciones para adquirir este sensor pues simplifica el hardware en la placa de montaje.

A diferencia de otros sensores, este lo tendremos que conectar a pines digitales, ya que la señal de salida es digital. Llevan un pequeño microcontrolador de 8bits interno para hacer el tratamiento de señal.

Cada sensor DHT11 está estrictamente calibrado en laboratorio, presentando una extrema precisión en la calibración, lo que nos da una gran fiabilidad. Los coeficientes de calibración se almacenan como programas en la memoria OTP, que son empleados por el proceso de detección de señal interna del sensor.

El protocolo de comunicación es a través de un único hilo (1-wire), por lo tanto hace que la integración de este sensor en este proyecto sea sencilla, pues comparte protocolo de comunicación con el sensor DS18B20 presentado anteriormente.

Además, presenta un tamaño reducido, un bajo consumo y la capacidad de transmitir la señal hasta 20 metros de distancia. Como desventaja frente a otros sensores, éste sólo presenta medidas enteras, es decir, sin decimales, ya que la resolución que presenta es de 1% para la humedad relativa, que es buena para el objeto del proyecto, y de 1°C para la temperatura, que es una baja resolución respecto al DS18B20, por ello este sensor de temperatura no determinará ningún comportamiento o acción del sistema. El rango de medición de humedad es de 20-90% con una precisión de $\pm 5\%$ y el rango de temperatura de 0 a 50°C con una precisión de $\pm 2^\circ\text{C}$.

Al igual que el sensor DS18B20, el DHT11 posee tres pines de conexión, VDD, GND y bus de datos 1-wire, aunque este incluye otra patilla no conectada NC. En este caso, también será recomendada una resistencia en Pull-up de 5k Ω .

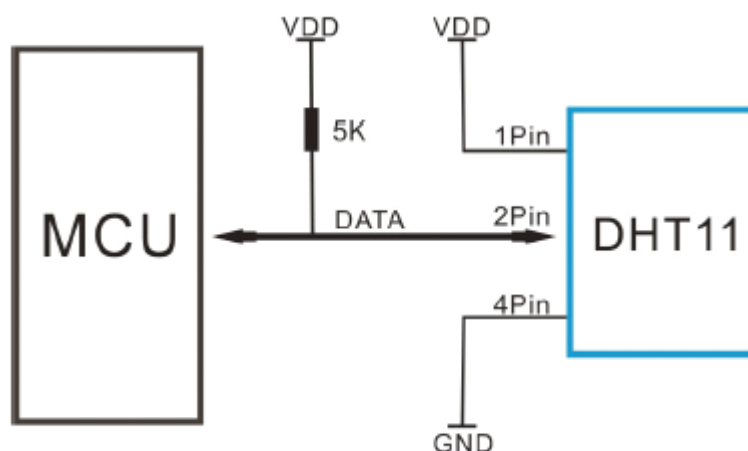


Ilustración 34 Esquema de conexión DHT11

4.2.1. Medición temperatura y humedad DHT11

El sensor DHT11 funciona con ciclos de operación de duración determinada, 4ms por operación. En el transcurso de este tiempo, el microcontrolador externo (MCU) y el microcontrolador de 8bits que lleva integrado el sensor, se comunican entre sí siguiendo el orden señalado a continuación:

- El microcontrolador externo inicia la comunicación.
- El sensor cambia del modo de bajo consumo, estableciendo un nivel bajo de 80 μ s, al modo running durante otros 80 μ s hasta completar MCU la transmisión.
- El sensor envía 5 bytes: 8bit integral RH data + 8bit decimal RH data + 8bit integral T data + 8bit decimal T data + 8bit check sum
- Se produce el handshaking

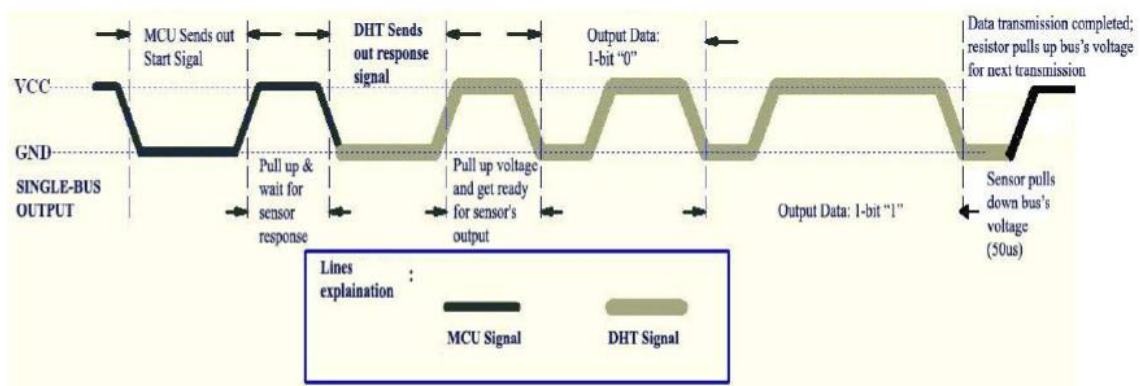


Ilustración 35 Proceso general de medición DHT11

4.2.2. Comunicación Single-bus DHT11

El bus de comunicación serie en reposo se encuentra en alto nivel, voltaje VCC. Cuando la comunicación entre MCU y el DHT11 comienza, el microcontrolador externo pondrá el dato bus serie del nivel alto, al bajo, y este proceso tardará al menos 18ms para asegurar la detección de la señal del MCU por el DHT11. Tras esto, MCU pondrá el nivel Pull-up y esperará 20-40ms para la respuesta del sensor DHT11.

Una vez el DHT11 detecta la señal de comienzo, envía una señal de respuesta de nivel bajo que durará 80 μ s. Más tarde el sensor pondrá el voltaje del Single-bus de bajo a alto y lo mantendrá 80 μ s para la preparación del DHT11 para enviar los datos.



Quando el DHT11 está enviando los datos al MCU, cada bit de datos comienza con 50µs de nivel bajo y la longitud de la siguiente señal de nivel alto determina si el bit de dato es "0" o "1" (ver *Ilustración 37* e *Ilustración 38*).



Si la señal de respuesta del sensor DHT11 está siempre en un nivel alto, esto sugiere que el sensor no está funcionando correctamente. Cuando el ultimo bit del dato es transmitido, el DHT11 se pone en nivel bajo y se mantiene por 50 μ s. Luego, el voltaje del Single-bus será subido de nuevo a Pull-up por las resistencias para volverlo a establecer en el estado libre o de reposo.

4.2.3. Señal de comunicación DHT11

Como ya se comenta en el apartado 4.1.3., en capítulos posteriores se verán la configuración e inicialización del temporizador que controla la comunicación de los sensores. Pero a continuación se estudiará la señal diseñada para controlar y comunicar el sensor de temperatura y humedad DHT11.

Para proceder a la lectura de los datos del sensor, primero se ha de poner a nivel bajo "0" la señal de la sonda (canal 4, fucsia) durante $\Delta x = 20$ ms hasta que la sonda nos conteste con los datos. La señal auxiliar de control de toma de datos (canal 1, amarillo) indica dónde se hacen las lecturas de los datos.

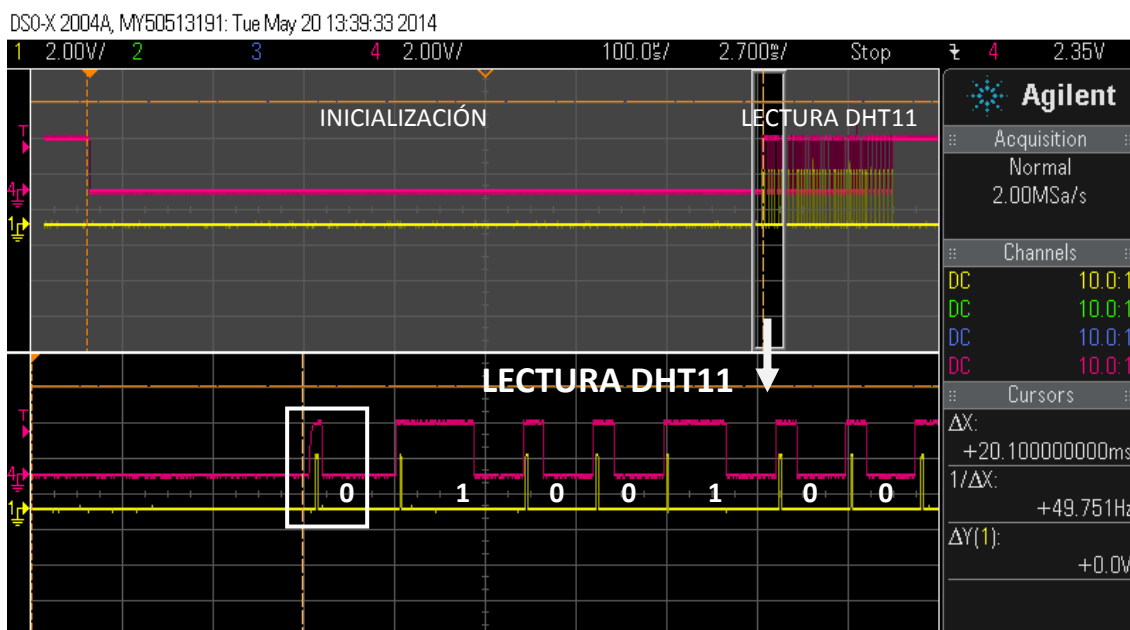


Ilustración 39 Captura pantalla osciloscopio DHT11 (1)

En este protocolo de comunicación, el dato se transmite por duración de cambio de estado de la señal de la sonda. La señal auxiliar de control de lectura nos indica el cambio de estado de la señal de la sonda y definiendo un tiempo medio determinado podremos comprobar cuál es el dato que se recibe de la sonda. A partir de esa temporización media prefijada, si el intervalo de tiempo la supera, el sensor nos estará transmitiendo un "1", y si por el contrario, el intervalo de tiempo es menor que la temporización media, la sonda nos estará enviando un "0".

Pero al leer los resultados, salían datos imposibles de interpretar por lo que se detectó que el primer cero no se debía de leer y se cambió el software de control del sensor, obviando el primer cambio de nivel, que generaba el sensor y no era dato.

Se forzó a que ese dato fuese ilegible para la máquina, obteniendo la lectura correcta tanto de la temperatura como de la humedad. En la siguiente gráfica veremos cómo este dato no es leído por la señal de control de lectura, y se añade otra señal auxiliar (canal 2, verde) de interpretación del dato que la sonda nos transmite, para facilitar su lectura.

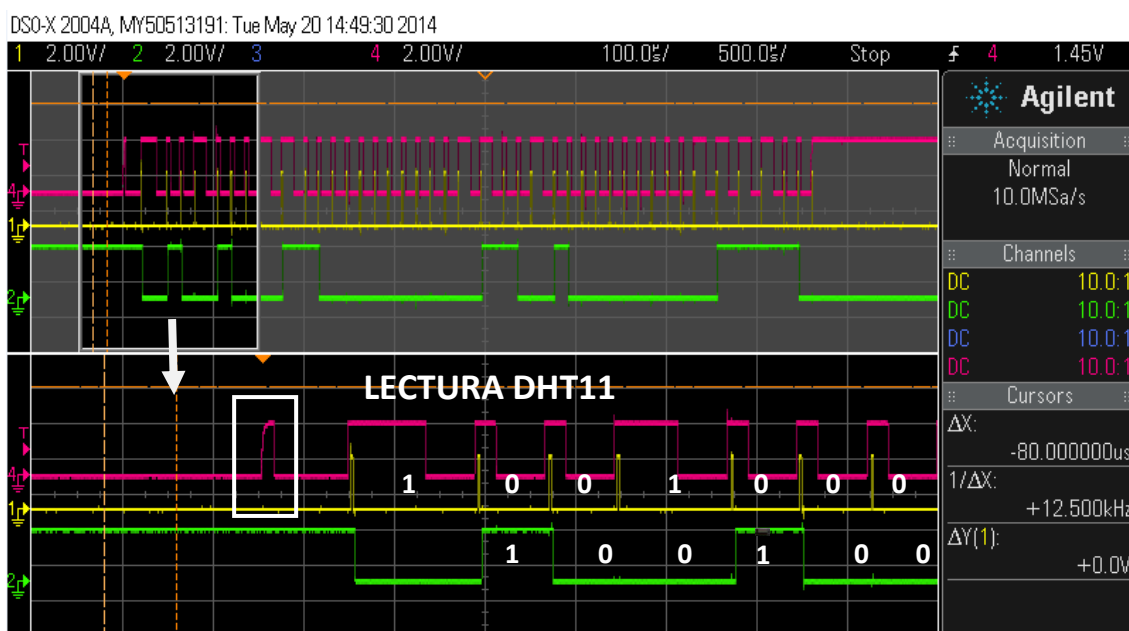


Ilustración 40 Captura pantalla osciloscopio DHT11 (2)

A continuación, se comenzará con la parte del diseño hardware del sistema de climatización.

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL: HARDWARE

Una vez se tenía claro el módulo termoelectrico y el equipo de disipación a utilizar, aparte de con qué sensores se iba a hacer la medición y cuáles iban a ser todos los actuadores y periféricos que iba a controlar el microprocesador, se comienza con la siguiente parte del proyecto, el diseño del dispositivo de control.

Este capítulo básicamente contiene el diseño del hardware del dispositivo que posteriormente va a controlar el clima de la urna. Por lo que estarán presentes todos los aparatos y el conexionado necesario para la alimentación, conectores, etapas intermedias de filtro y aislamiento, etc.

5.1. REQUISITOS

El sistema hardware debe cumplir unos requisitos básicos o recomendados para lograr el objetivo global del proyecto. La alimentación, conexionado, filtros y aislamiento eléctrico es parte fundamental del presente proyecto para la posible implementación del equipo controlador de clima y para lograr posteriormente, el entendimiento entre todas las partes del conjunto. La *Tabla 5* muestra los principales requisitos del equipo:

IDENTIFICADOR	DESCRIPCIÓN	CUMPLIMIENTO
REQ-01	Fuente alimentación externa 5v	obligatorio
REQ-02	Fuente alimentación externa 12-15v 200w	obligatorio
REQ-03	Alimentación alterna 230v	obligatorio
REQ-04	Etapas aislamiento eléctrico	recomendado
REQ-05	Aislamiento. GNDs comunes	recomendado
REQ-06	Circuito potencia alimentación Peltier	obligatorio
REQ-07	Funcionamiento perpetuo. Batería Litio 3v3	recomendado
REQ-08	Almacenamiento de datos	recomendado
REQ-09	Filtro ruidos	recomendado
REQ-10	Salidas y conectores Actuadores	obligatorio
REQ-11	Salidas y conectores Periféricos	obligatorio
REQ-12	Entradas y conectores Medidores	obligatorio
REQ-13	USB-UART convertidor serie	recomendado
REQ-14	Microprocesador rápido y completo. Timers, entradas-salidas, ADC_DAC	obligatorio

Tabla 5 Principales requisitos hardware del sistema

- REQ-01: Requisito necesario para alimentar el microprocesador y parte de los periféricos.
- REQ-02: Requisito necesario para alimentar ciertos actuadores que funcionan a 12v como la célula Peltier. Por esto, la necesidad de una fuente de tanta potencia.
- REQ-03: Requisito imprescindible para alimentar ciertos actuadores que funcionan con corriente alterna.
- REQ-04: Requisito recomendado para diferenciar eléctricamente distintas etapas. Se encuentran para separar las fuentes anteriormente descritas y el circuito de potencia.

- REQ-05: Requisito recomendado para que no se produzcan cortos entre diferentes etapas con distintas tierras.
- REQ-06: Requisito necesario para poder alimentar la célula Peltier que funciona con corrientes de sentidos opuestos. Al estar separado, también cumple la función de aislar eléctricamente las distintas partes.
- REQ-07: Requisito recomendado para evitar desprogramaciones y pérdidas de datos en caso de que al dispositivo no llegue la corriente.
- REQ-08: Requisito recomendado para evitar ocupar demasiado espacio en el programa principal.
- REQ-09: Requisito recomendado para evitar ruidos en señales con resoluciones tan bajas.
- REQ-10: Requisito necesario para poder implementar el dispositivo completo con todos los actuadores.
- REQ-11: Requisito necesario para poder implementar el dispositivo completo con todos los periféricos que ayudarán al usuario a manejarlo.
- REQ-12: Requisito necesario para poder implementar el dispositivo completo con todas las entradas que nos transmiten mediciones.
- REQ-13: Requisito recomendado para poder trabajar con máquina y dispositivo sin que se encuentren cada uno de los periféricos del equipo.
- REQ-14: Requisito imprescindible para poder controlar todas las entradas y salidas y que exista un orden lógico en el control. Se requiere un microprocesador con varios contadores y timers, con distintas entradas y salidas, o con convertidores de señal, entre otras características.

De todos estos requisitos, se sacan ciertas conclusiones en cuanto a qué componentes y materiales se necesitan. Se han dividido en cinco sistemas principales, alimentación, control, iluminación, lluvia, climatización y renovación. A continuación, se verá la *Tabla 6* con casi todos los elementos empleados en el equipo de control y alimentación y los distintos dispositivos de actuación:

Kit	Necesidades	Artículo
Sistema de Alimentación	Fuente alimentación 200W salida: 15V 13,3A	
	Fuente alimentación 5v	
	Fuente alimentación 24v 3A	
	Interruptor externo	
Sistema de Control	Placa microprocesador	STM32VL DISCOVERY (placa)
	Software control microprocesador	ATOLLIC TRUESTUDIO
	Pila de botón microprocesador y soporte	
	Memoria FRAM (ferricram) o EEPROM	24LC64
	Transistores -> relés iluminación+bomba+peltier+ventiladores	ULN2803

	2 Relés estado sólido.: bomba+bombilla UV	CRYDOM
	4 relés estado sólido: peltier	LH1546
	4 rectificadores: peltier	IRLB8743
	Placa PCB con agujeros para experimentar. Placas de "puntos" de unos 10x15 cm	
	Zócalos varios conector grueso	
	Tiras de pines hembras para PCB	
	Conectores para entradas y salidas (cada periférico). Macho-Hembra. conectores Molex crimpados	
	Adaptador USB-Serial 3V3	
	Resistencias, condensadores bobinas, diodos y otros componetes	
	Cable de 20v	
	Teclado o joystick	
	Display gráfico	DIGOLE
	Sensor temperatura	DS18B20
	Sensor humedad	DHT11
	LEDs alto rendimiento (Alarma visual)	

Sistema de Iluminación	Driver 12-56v 1000mA	LDD-1000H
	Iluminación LED: 5000K 60° (6 LEDs 3w + reflectores y lentes + placa disipadora)	
	Bombilla compacta de bajo consumo 5000K-6500K (Cold white) UVB	

Sistema de Lluvia	Bomba de presión 5-15bar	
	Nebulizador 6mm con puntera 0,4-0,7 mm	
	Tubo diámetro 15mm, largo xcms	
	Tubo diámetro 4mm, largo xcm	

Sistema Climatización	Célula Peltier 150w 10A 40*40mm	
	Disipador laminado lado caliente (exterior)	
	Ventilador axial lado caliente (exterior) 0,3A 12v 3,6W	
	Silicona térmica	
	Aislante goma forma de marco	
	Disipador laminado lado frío (interior)	
	Ventilador centrífugo lado frío (interior) 0,2A 12v 2,4W	
	Tocho metálico (aluminio)	

Sistema de Renovación	Ventilador axial extractor 0,1A 12v 1,2 W	
------------------------------	---	--

Tabla 6 Lista de necesidades y componentes

5.2. PLACA DE DESARROLLO STM32VL DISCOVERY

La placa STM32VLDISCOVERY es el producto de más bajo coste de la línea STM32. Esto se debe al tamaño de la placa, pequeño, con menor cantidad de entradas, salidas o timers que sus hermanas de la gama. Pero ello hará que sea una placa muy recomendable para principiantes que se introducen en el mundo de los microprocesadores, y hará que se pongan rápidamente a trabajar.

También hay que decir a favor de la placa es que pese al menor tamaño y cantidad de periféricos y entradas y salidas que el resto de la gama, esta placa está compuesta por el mismo microprocesador que el resto de las STM32, por lo que las capacidades y velocidades de trabajo son iguales. El microprocesador es el STM32F100RBT6B 64-pin.

En la *Ilustración 41* podemos observar dicha placa de desarrollo:



Ilustración 41 Placa STM32VL DISCOVERY

Entre sus principales características destacan:

- STM32F100RBT6B microprocesador, 128 KB Flash, 8 KB RAM
- Capacidad de ser alimentado por cable USB con el PC
- Puede ser externamente alimentado a 5v o 3v3
- Puede soportar la alimentación de dispositivos a 3v o 5v
- Programa de depuración incrustado
- Dos LEDs para uso del programador
- LED rojo para indicar alimentación 3v3 y LED rojo para indicar comunicación USB
- Dos botones pulsadores
- Cabeceras incluidas para todas las entradas y salidas

5.2.1. Hardware y Layout STM32VL

La placa STM32VL DISCOVERY está diseñada alrededor del microprocesador STM32F100RBT6B en 64-pin LQFP. A continuación, en la *Ilustración 42* se ve el diagrama de bloques de la placa de desarrollo:

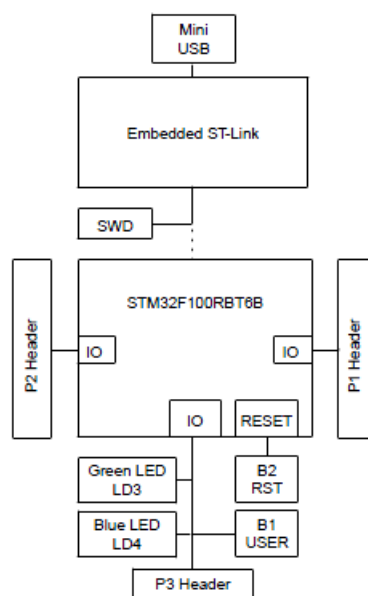


Ilustración 42 Diagrama de bloques placa desarrollo. Hardware

En la *Ilustración 43*, mostrada a continuación, se muestra el layout de la placa STM32VL DISCOVERY:

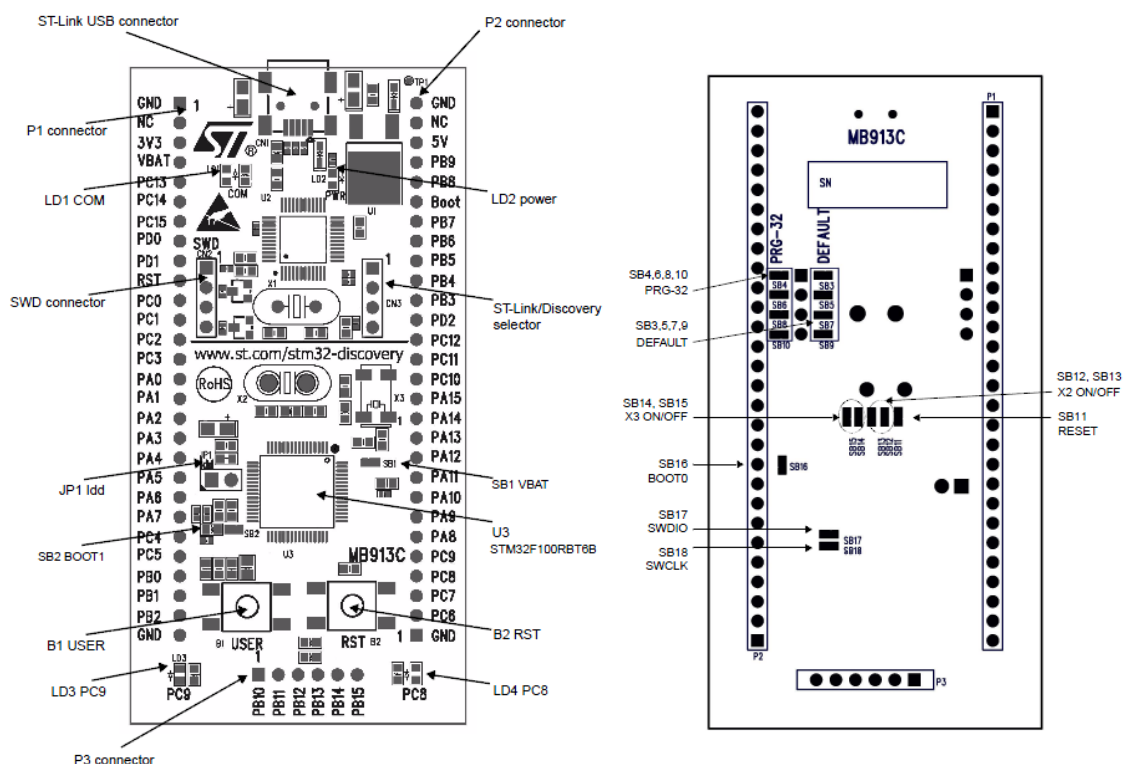


Ilustración 43 Layout STM32VL DISCOVERY

El microcontrolador de 8-bit que lleva la placa STM32VLDISCOVERY ofrece 128KBytes memoria Flash y 8Kbytes de RAM. Entre sus principales características destacan:

- [illegible]

65

5.3. PERIFÉRICOS Y ACTUADORES DEL EQUIPO

Son varios los dispositivos auxiliares e independientes que conectan con el microprocesador, algunos representan un medio de adquisición de datos, otros un medio de interacción y comunicación usuario-máquina y otros realizan tareas o acciones específicas.

Los periféricos se podrían dividir de la siguiente manera:

- Periféricos:
 - Periféricos de entrada: Sondas de temperatura y humedad, joystick
 - Periféricos de salida: Display
 - Periféricos de entrada/salida: Memoria EEPROM, convertidor serie USB-UART
- Actuadores: Relés de iluminación, ventilación, bomba hidráulica, equipo termoeléctrico

A continuación, daremos un breve repaso de los periféricos y actuadores del sistema, para conocer mejor su funcionamiento y los requerimientos específicos para el presente proyecto.

5.3.1. *Periféricos*

Los periféricos de entrada son los que captan y digitalizan los datos que luego serán enviados al microprocesador para su procesamiento. Como se detallaba hace breves momentos, los periféricos de entrada del equipo son las sondas de medición y el joystick. Las sondas ya han sido estudiadas (ver capítulo 4) por lo que ahora nos centraremos en el joystick.

- **Joystick**

Dispositivo similar al de muchas consolas de videojuegos, con este joystick puedes controlar y moverte sobre dos canales, X e Y, aparte de tener un pulsador sobre el eje Z. Por tanto, puede ser considerado como la combinación de dos potenciómetros y un botón. Para la aplicación tratada, ya que el menú del display es complejo, era de gran ayuda poder tener la libertad de moverse con la ayuda de dos ejes y un pulsador.

Los datos generados por los ejes X e Y son entradas analógicas y el eje Z es una señal de entrada digital, por lo que los conectores de los ejes X e Y irán a dos pines analógicos mientras que el del eje Z a un pin que deberá estar configurado como digital.

En cuanto a las especificaciones del joystick:

- Tres ejes: X,Y (potenciómetros) y Z (pulsador)
- Potenciómetros X e Y: 2 x 5k Ω
- Pulsador Z: normalmente abierto
- Dimensiones: 37*32*25 mm
- Peso: 15g

Y en cuanto a los conectores, posee 5 pines con la configuración mostrada en la siguiente *Ilustración 45*:

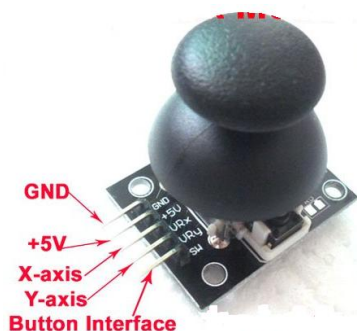


Ilustración 45 Conexiones joystick dos canales y pulsador

A continuación hablaremos de los periféricos de salida, que son los dispositivos encargados de proyectar la información al exterior del microprocesador, generalmente para la comunicación con el usuario del equipo. En este caso hablaremos del display.

○ Pantalla gráfica LCD

Debido al menú tan complejo que se iba a desarrollar, ya que las pantallas de inicio y de control debían de enseñar demasiada información, se obvió el uso de los comunes displays LCD de segmentos y por esto mismo se decidió seleccionar una pantalla gráfica LCD.

Se seleccionó una pantalla de la marca Digole, modelo DS12864LCD-6, que es de 2,7 pulgadas (70*35mm) con luz de fondo para situaciones de baja luminosidad. Este display posee una resolución de 128x64 pixels lo que permite tener un tamaño de fuente pequeño, aunque alternativamente es utilizada con otras fuentes de mayor tamaño, lo cual también representaba una ventaja. Otra de las características gráficas principales es que permite dibujar caracteres en cuatro direcciones por lo que se puede situar en distintas posiciones y ello permite dibujar gráficas, figuras, etc. Además, posee funciones ya desarrolladas y grabadas para que el trabajo con ella sea más intuitivo y sencillo.

En cuanto a sus principales características eléctricas, se puede alimentar de 3v3 a 9v y consume relativamente poco, 16mAh a 5v. Es muy versátil para la comunicación pues se puede comunicar a través de puertos I2C, UART y SPI. En la comunicación UART, permite diferentes baudios. En este caso, se ha conectado a través del canal UART, conectando Rx (recepción) del display con Tx (transmisión) del microprocesador.

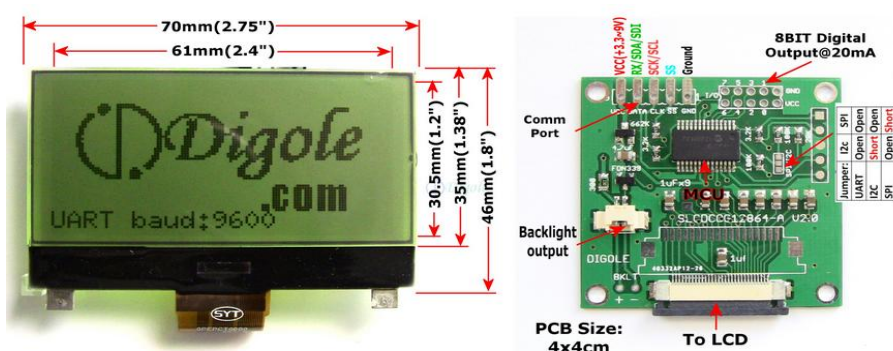


Ilustración 46 Pantalla gráfica LCD e interface

Por último, concluiremos con los periféricos de entrada/salida, que son los que utiliza el microprocesador tanto para mandar como recibir datos. En este caso son dos los periféricos que se utilizan en el proyecto, la memoria EEPROM y el convertidor serie USB-UART aunque únicamente haremos un breve resumen de la memoria EEPROM.

○ Memoria EEPROM

Las memorias EEPROM son un tipo de memoria ROM que puede ser programada, borrada y reprogramada eléctricamente. A diferencia de las EPROM que han de borrarse mediante un aparato que emite rayos ultravioleta, estas son memorias no volátiles.

El modelo concreto usado es el 24LC64 que es un dispositivo de 64bit que está organizado como un bloque simple de 8k x 8-bit con interface de 2 cables serie. El diseño de bajo voltaje permite operar por debajo del voltaje de 1,8v, con corrientes de espera y activas de 1uA y 1mA respectivamente.

Ha sido diseñada para aplicaciones de baja potencia como comunicaciones usuario y adquisición de datos. Aunque ofrece capacidades de escritura de datos de hasta 32 bytes. Las distintas líneas de direcciones nos permiten usar hasta ocho dispositivos en el mismo bus, de hasta 512 kbits de espacio en la dirección.

El componente tiene 8 pines de conexión que se corresponden con la alimentación y GND, y posee dos pines SDA y SCL que es por donde irán las dos líneas de comunicación, ver *Ilustración 47*.

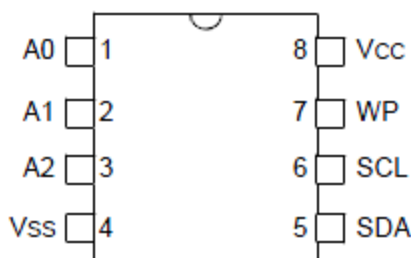


Ilustración 47 Pines memoria EEPROM

La comunicación la realiza vía I2C, siendo SDA el dato y SCL el reloj. El protocolo de comunicación es el siguiente, que aparece gráficamente en la *Ilustración 48*:

- Cuando el bus no está ocupado, tanto la línea de datos como la de reloj se encuentran altas. (A)
- Comienza la transferencia de datos y la línea de datos SDA hace la transición del estado alto al bajo mientras el reloj SCL determina la condición de comienzo de transmisión. (B)
- Acaba la transferencia con una transición del estado bajo al alto del SDA mientras el reloj SCL determina la condición de cierre de transmisión. (C)
- Validación de datos cuando tras una condición de comienzo, la línea de datos es estable para la duración del periodo alto de la señal reloj. La línea de datos debe cambiar bajo el periodo de nivel bajo de la señal reloj, hay un pulso de reloj por bit de datos. El número de bytes de datos transferidos entre las condiciones de comienzo y

cierre está determinado por el dispositivo master y es, teóricamente, ilimitado. Cuando ocurre una sobrescritura, la memoria reemplaza los datos por el método FIFO, first-in first-out. (D)

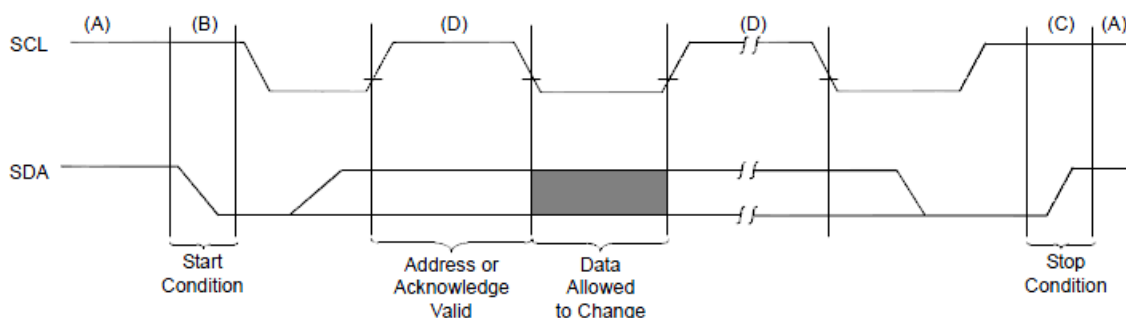


Ilustración 48 Secuencia transferencia de datos en el bus serie

- **Convertidor serie USB-UART**

El convertidor serie USB-UART, es un dispositivo pensado para comunicar un PC o portátil cualquiera con el microprocesador con el que se trabaje. Por un lado, tiene una conexión USB que se conecta con el ordenador, y por el otro lado tiene seis pines, de los cuales se deben conectar Rx, Tx y GND a la placa de montaje para permitir la comunicación.

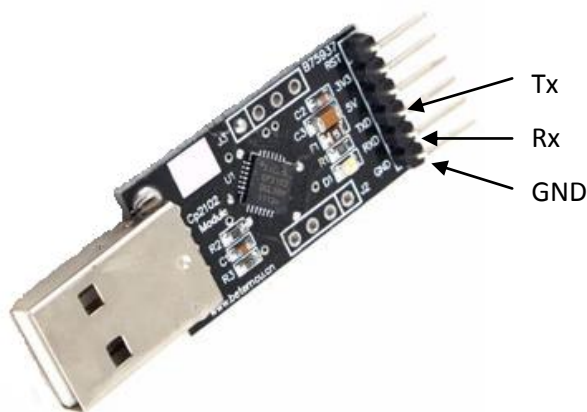


Ilustración 49 Convertidor serie USB-UART

La comunicación se hará a través de los pines de datos (Tx,Rx) con un chip UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), llamado RS485, que maneja las interrupciones de los dispositivos conectados al puerto serie y convierte los datos en formato paralelo a formato serie, para que puedan ser transmitidos a través de los puertos y viceversa.

La secuencia de trabajo del convertidor UART primero toma bytes de datos y transmite los bits individuales en serie, de forma secuencial. En el destino, un segundo UART reensambla los bits recibidos en bytes completos. Esta comunicación serie permite el uso de un único cable frente a la transmisión en paralelo con múltiples cables. Cada UART contiene un registro de desplazamiento que es el método fundamental de conversión entre las forma serie y paralelo.

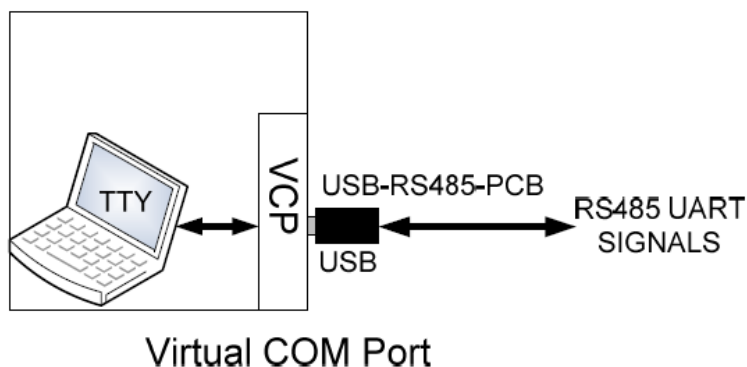


Ilustración 50 Conexión PC-PCB

Como se comentaba en apartados anteriores, este dispositivo no es obligatorio pues la comunicación se puede realizar a través del display y de un joystick o teclado externo, pero facilita las cosas puesto que con el uso de un software de acceso de puertos, se podrá tener en cualquier ordenador los mensajes que saltan en el programa y nos permite introducir datos a la máquina en una pantalla de grandes dimensiones.

En este caso, primero se estuvo trabajando con el convertidor serie y una vez se tenían más o menos definidos los menús, mensajes, etc., se inicializaron y configuraron el display y el joystick. Posteriormente se comenzó con la laboriosa tarea de adaptar los mensajes a una pantalla de escasas líneas, y los datos y movimientos a través del menú, que anteriormente se introducían por teclado, se ligaron a un joystick que dificultaba sensiblemente esta tarea.

Por tanto, siempre que se vaya a trabajar con un ordenador, lo más sencillo será usar el convertidor serie USB-UART y la pantalla y joystick o teclado externo se quedarán para aplicaciones que no nos permitan mantener un ordenador conectado al lado.

5.3.2. *Actuadores y dispositivos de actuación*

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar una forma de energía en la reacción de una línea de conexión que permite la activación de un proceso, con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control, lo que se ha definido como dispositivos de actuación.

Existen varios tipos de actuadores como son los electrónicos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos. Pero para este caso, se hará uso de los electrónicos básicamente.

- **Relés de estado sólido**

Se trata de un circuito híbrido, compuesto por un optoacoplador que aísla la entrada, un circuito de disparo que detecta el paso por cero de la corriente de línea y un triac o dispositivo similar que actúa de interruptor de potencia.

Se seleccionó esta tecnología ya que para la aplicación contemplada, iba a haber un uso continuo y prolongado de los dispositivos de actuación lo cual generaría mucho desgaste

mecánico en relés convencionales. Otra de las principales características que decantaron la elección, aunque finalmente se desarrolló de otra manera, fue el hecho de poder conmutar altos amperajes, como el del módulo termoelectrico, que en el caso del relé electromecánico destruirían en poco tiempo los contactos.

Se escogió el modelo LH1546AEF que permite una velocidad de conmutación muy alta y se presupone robusto e ideal para aplicaciones con distintas tierras. Es un relé que se encuentra normalmente abierto y que es construido usando un LED para el control de actuación y un integrado monolítico para la salida del estado de alimentación. Esta salida ideada para alto voltaje, está compuesta de un fotodiodo, un circuito de control switch y un MOSFET. Además, emplea un circuito de limitación de corriente y un regulador de voltaje para la sobreprotección del dispositivo.

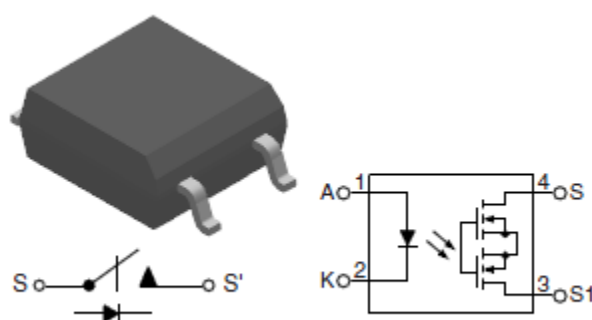


Ilustración 51 Configuración relé estado sólido LH1546

- **Driver de corriente cte. dimmer**

Circuito que logra mantener la intensidad eléctrica de lo que alimenta constante, en aplicaciones de continua DC-DC. Se emplean generalmente para el uso de LEDs, ya que vienen adaptados para una regulación del voltaje variable para enlazar distintos en serie y permite el control por ancho de pulso PWM con el dimmer.

Se escoge el modelo de MeanWell LDD-1000H por su eficiencia del 97% y la capacidad de control PWM dimming desde un 0% hasta un 100%. El controlador mantiene la corriente constante a 1A y será alimentado con la fuente de 20v, permitiendo pilotar hasta seis LEDs de 3w cada uno en serie. La frecuencia de la onda PWM debe encontrarse entre los límites marcados de 100Hz y 1KHz.

Entre otros datos a destacar se encuentran la protección que trae contra cortocircuitos y la protección contra sobre temperatura. Mientras existe un cortocircuito el controlador sigue funcionando pero en un estado de reposo esperando a que la corriente típica vuelva de nuevo. En el caso de la sobre temperatura, el driver se apaga y vuelve al funcionamiento en cuanto la temperatura lo permite.

A continuación, en la siguiente *Ilustración 52* se puede ver una imagen del driver y la configuración típica del conexionado:

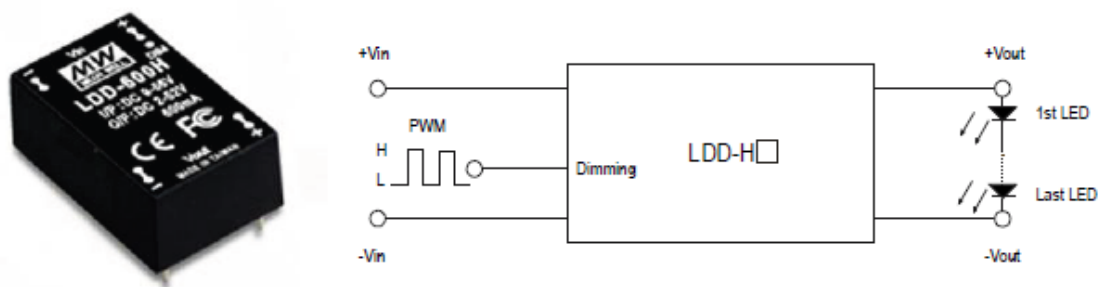


Ilustración 52 Configuración driver LDD-1000H

A continuación, se resumirá brevemente los dispositivos de actuación que accionan los actuadores, por dar una mejor perspectiva de una de las posibilidades de lo que se podría desarrollar con el siguiente proyecto:

- **Iluminación. Luz LED y luz UV**

El sistema de iluminación consta de dos sistemas o tecnologías de iluminación y a su vez de dos formas de control diferente.

La simulación del espectro visible, se lleva a cabo con un equipo LED con el fin lógico de consumir poco a la vez que se ofrece un buen rendimiento lumínico en la urna a iluminar, y por el hecho de que se busca simular los amaneceres y atardeceres. Este equipo está compuesto por seis LEDs de 3W cada uno, 1A y 3v, que suman una potencia total de 18W. Ello equivale a unos 1200lm de intensidad luminosa con una temperatura de color blanca neutra 5500K y cada LED lleva un reflector de ángulo de 60º y disipador.

Dado que los LEDs necesitan una corriente constante, se alimentaron con la fuente mencionada próximamente de 20v y 3,16A y se controlan con el driver de corriente cte. regulable. El driver nos permite la simulación del amanecer y atardecer y esta es la razón por la que el control de la iluminación se hará con una onda PWM, señal que más adelante será explicada.

Para completar el equipo de iluminación, y de cara a proporcionar el espectro de luz necesario que falta, el ultravioleta, se monta una bombilla de bajo consumo que ofrecerá luz visible blanca fría de 6500K de temperatura de color y cierta proporción de UVA(400-315nm) y UVB(315-280nm), en una potencia de 20W. Su control se realiza con un relé de estado sólido y se basará en el encendido tras el amanecer simulado y el apagado previo a la simulación del atardecer por el sistema de iluminación LED.

- **Sistema de Lluvia. Bomba hidráulica**

Se monta una bomba hidráulica de presión por aire, como las que se usan en las cafeteras express, de 50W de potencia y que genera una presión de 15bares. En la urna que emplearemos, daremos la humedad de la forma más dispersa que se pueda y con el menor caudal posible, por ello, se hará a través de unos pulverizadores de micro gotas. Debido a la

gran resistencia al paso del agua de estos pulverizadores, el caudal es bajo y para difuminar bien la urna se necesita de bombas de altas presiones como la empleada.

- **Sistema de Renovación. Ventilador**

También formará parte del equipo un ventilador de 1,2W de bajo caudal y ruido despreciable, con el cometido de la renovación del aire y control de temperatura y humedad de la urna.

- **Sistema de Climatización. Equipo termoeléctrico**

Otro de los dispositivos de actuación será el módulo termoeléctrico y los ventiladores de disipación, que ya se explicaron en el pasado capítulo 3.

5.4. ALIMENTACIÓN DEL EQUIPO

Como ya se ha comentado con anterioridad, el equipo tiene tres fuentes de alimentación diferentes para alimentar los distintos dispositivos, la red alterna, un aparato de continua 12v-15v y continua 5v:

- **Red alterna AC**

La red que alimenta los hogares a 230v de alterna. Necesaria para alimentar las lámparas que darán la iluminación a la urna y la bomba del sistema de lluvia.

- **Fuente de alimentación 5v DC**

Fuente conectada a la red alterna y que proporciona una salida continua DC de voltaje 5v y 0,5A de corriente eléctrica, la potencia de salida es de 2,5W. Su uso es necesario para poder alimentar el microprocesador y todos los periféricos que comunican con este, descritos en apartados anteriores.

- **Fuente de alimentación 20v DC**

Fuente conectada a la red alterna y que proporciona una salida continua DC de voltaje 20v y 3,16A de corriente eléctrica, la potencia total de salida podría ser hasta de 63W. En este caso, la fuente alimenta el equipo LED en disposición en serie (1A, 18v), por lo que la potencia empleada será de unos 18W, quedando la posibilidad en líneas futuras hasta de triplicar el equipo de iluminación LED.



Ilustración 53 Fuente de alimentación 63w

- **Fuente de alimentación regulable 12-15v DC**

Esta fuente de nuevo se conecta a la red alterna y obtenemos una salida continua de voltaje regulable, 12v a 15v y una corriente eléctrica máxima de 13,3A, por lo que su potencia de salida es de 200W. El rendimiento del aparato es del 80% y tiene una protección de sobrecargas de un 105%-150% y contra sobretensión de un 115%-135%.

Esta fuente se escogió para alimentar todos los aparatos conectados a 12v, la célula Peltier y los ventiladores del equipo. Y era recomendable seleccionarla regulable de cara a poder experimentar y modelizar, a través de los resultados térmicos y eléctricos hablados en el capítulo 3.5, estos componentes.

La fuente tiene dos conectores AC para su alimentación, una tierra GND para evitar encontrarse a diferente potencial con otros aparatos, seis conectores que forman tres salidas DC y un variador de voltaje, ver *Ilustración 54*.



Ilustración 54 Fuente de alimentación regulable 200w

5.5. PLACA DE MONTAJE DEL DISPOSITIVO DE CONTROL

Antes de pasar a ver el diseño hardware del equipo de control, definiremos todas las entradas y salidas conectadas del microprocesador y de qué modo o configuración se han conectado.

Se puede ver a continuación en detalle, en el *Tabla 7*, todos los pines que se han ocupado del microprocesador, la descripción del elemento que lo ocupa, la función o periférico de control del microprocesador que lo controla y, por último, el modo del que están configurados los pines:

	PIN	DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN	CONFIGURACIÓN
1	PUERTO A	PA0	BOTÓN USUARIO	-
2		PA3	JOYSTICK X	I/O
3		PA4	JOYSTICK Y	I/O
4		PA5	JOYSTICK PULSADOR	I/O
5		PA6	PELTIER	TIM3_CH1
6		PA7	LED	TIM3_CH2
7		PA8	FRÍO/CALOR PELTIER	I/O
8		PA9	UART TX	USART1_TX
9		PA10	UART RX	USART1_RX
10	PUERTO B	PB0	VENTILADOR RENOVACIÓN	TIM3_CH3
11		PB5	SONDA 1	I/O
12		PB6	SONDA 2	I/O
13		PB9	AUX	TIM4_CH4
14		PB10	I2C CLK	I2C2_SCL
15		PB11	I2C DAT	I2C2_SDA
16	PUERTO C	PC6	VENTILADORES DISIPACIÓN	I/O
17		PC8	LED PLACA AZUL	I/O
18		PC9	LED PLACA VERDE	I/O
19		PC11	BOMBA	I/O
20		PC12	LUZ UV	I/O

Tabla 7 Pines microprocesador y su configuración

Dividiremos en tres ilustraciones todo el hardware del equipo de control para que se visualice por diferentes partes lo cual hará la lectura menos densa.

En la *Ilustración 55* se muestra las conexiones y alimentación del microprocesador. Cabe reseñar que se puso un interruptor entre la fuente de alimentación de 5v y la alimentación EXT_5V del microprocesador. Esto permite la alimentación a través de la fuente o de la conexión por cable USB que trae la placa de desarrollo, de forma independiente y sin peligro de producir un corto:

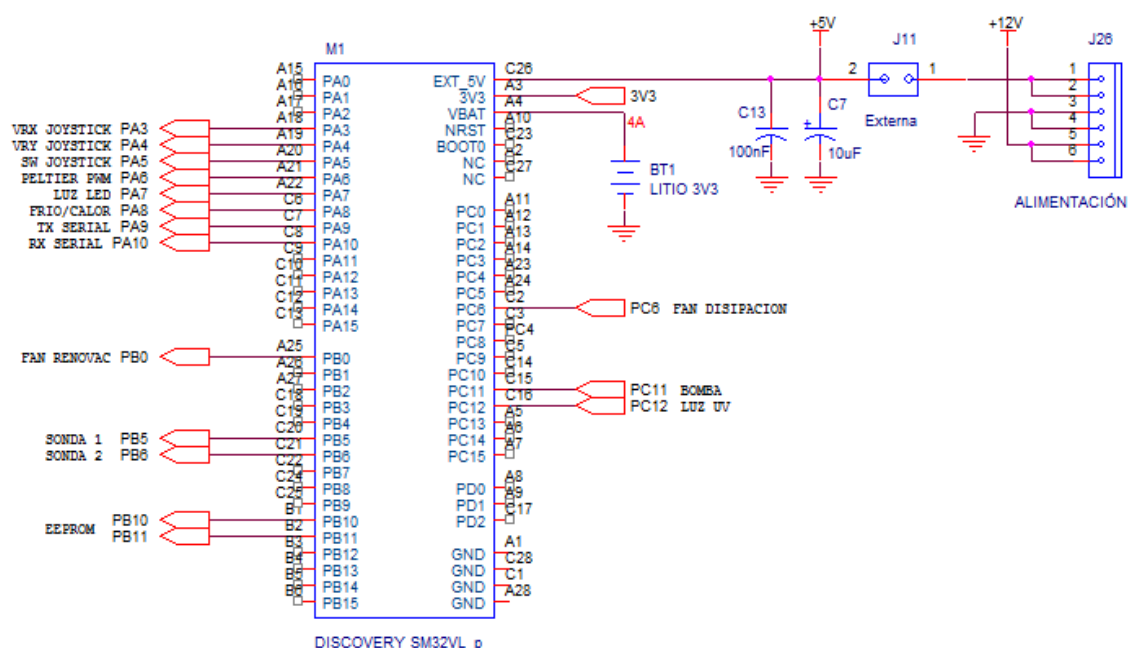


Ilustración 55 Hardware microprocesador

En la Ilustración 56 se pueden ver los periféricos de entrada y salida que van al microprocesador, todos ellos conectados con conectores Molex a excepción de la memoria EEPROM que tanto su entrada como salida van al microprocesador:

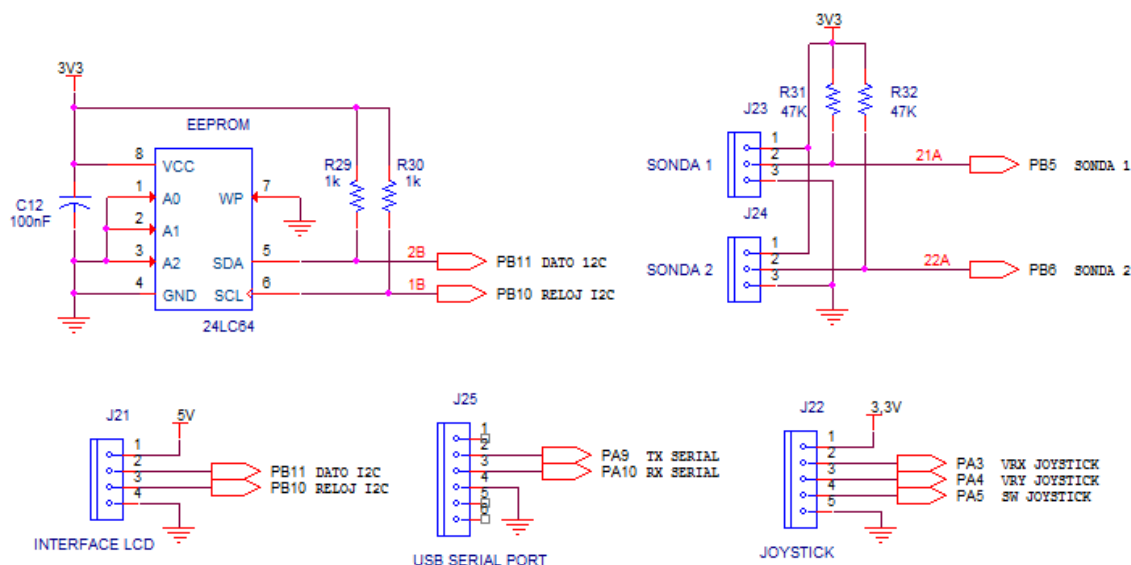


Ilustración 56 Hardware periféricos

En la Ilustración 57 se detallan los actuadores y dispositivos de actuación del microprocesador, con excepción de la célula Peltier que se encuentra en la placa de potencia. Todas las señales de salida del micro, de bajo voltaje y amperaje, van al transistor ULN2803. El transistor al recibir la señal, abre el circuito de 12v y permite tanto la activación directa de la ventilación, como el pulso necesario para cerrar los relés, como la amplificación de las señales que van a la placa de potencia. Los relés de estado sólido, al recibir la señal de 12v, cierran el circuito de alterna a 230v y permiten la actuación de la iluminación y la bomba:

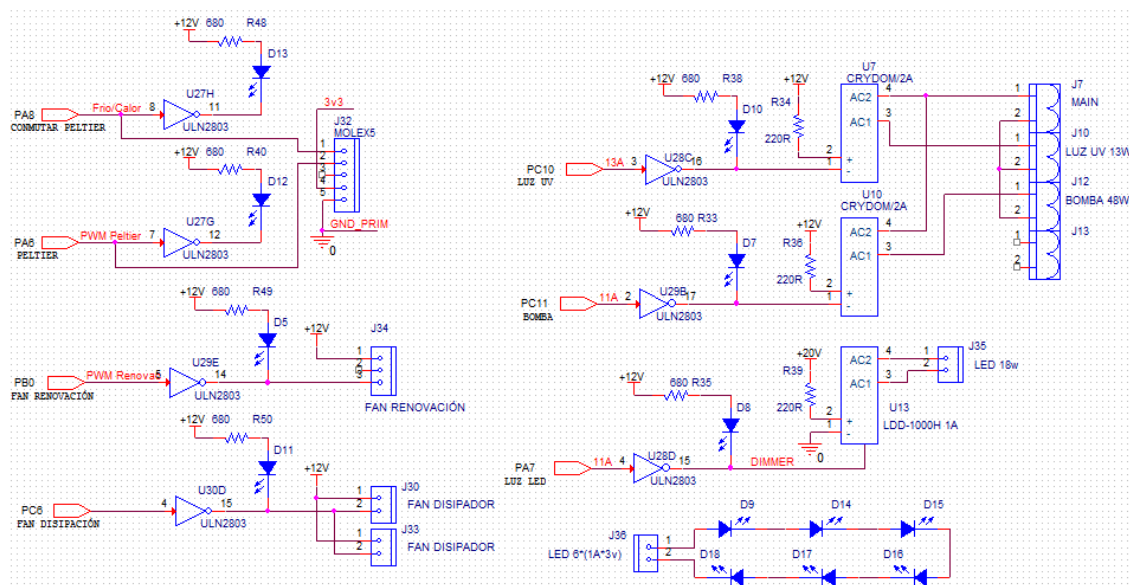


Ilustración 57 Hardware actuadores y dispositivos de actuación

En la siguiente *Ilustración 58*, se muestra una imagen real de cómo quedó la placa de montaje del dispositivo de control, todo el cableado y los componentes se encuentran debajo:

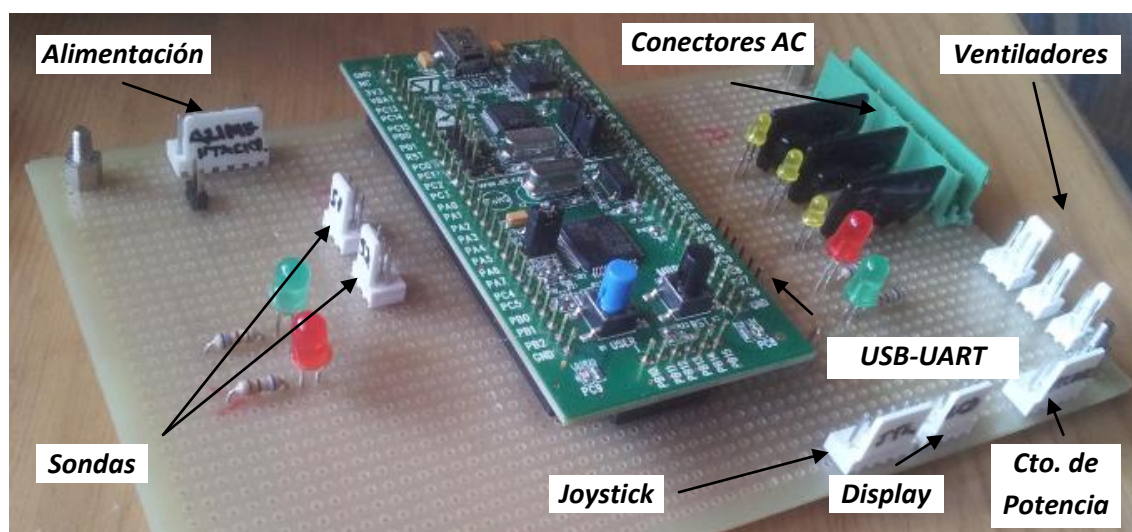


Ilustración 58 Placa de montaje del control

5.6. PLACA DE POTENCIA DEL EQUIPO TÉRMICO

El módulo termoeléctrico tiene una gran potencia mientras funciona a 12v, por lo que como ya se ha comentado, es capaz de recorrerlo una corriente eléctrica grande de unos 10A máx. Además, se requería de un circuito que fuese capaz de suministrar una corriente, en dos sentidos de circulación, para alimentar la célula Peltier. Por todo ello, se decide montar un circuito de potencia externo y mantener al margen el circuito de control que trabaja con amperajes mucho más bajos. A continuación, en la *Ilustración 59*, se observa el circuito completo:

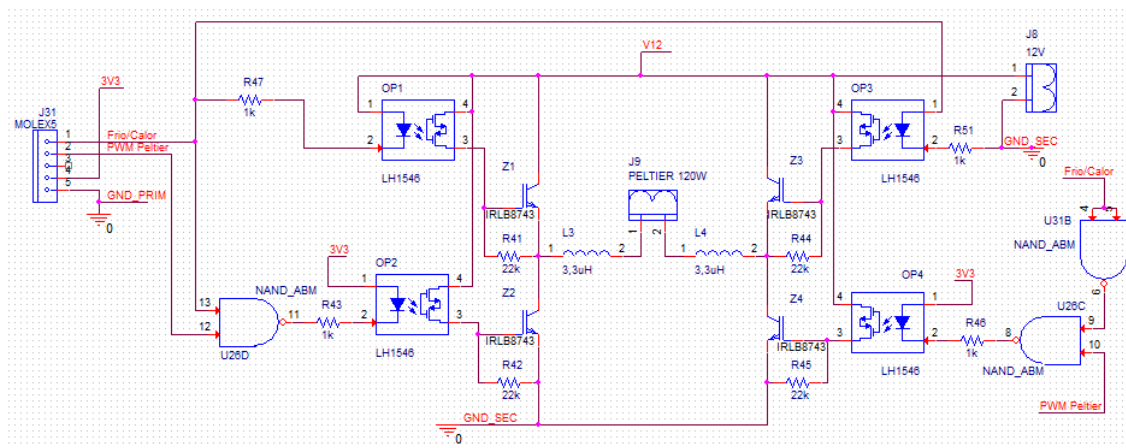


Ilustración 59 Hardware circuito de potencia

Para desarrollar el circuito de potencia, partimos de dos señales que nos ofrece el microprocesador, PA6 y PA8, señal PWM de control de la célula Peltier y señal de Frío/Calor para conmutar el sentido de la corriente que pasa por ella. El tratamiento de estas señales ya se ha visto con anterioridad en la *Ilustración 55* e *Ilustración 56*, por lo que no se volverá a describir todo el recorrido.

Una vez ya se tienen estas señales en el circuito de potencia con el que estamos trabajando, y también la alimentación de los componentes que van a ser usados, de voltaje 3v3, podemos comenzar a diseñar nuestro circuito lógico de potencia. Primero conoceremos las señales y sus valores, *Tabla 8*.

SEÑAL		VALOR
PELTIER PWM	OFF	0
	ON	1
FRÍO/CALOR	FRIO	0
	CALOR	1

Tabla 8 Valores señales entrada circuito de potencia

Ambas señales de control, primero se conectan a la parte lógica del circuito de potencia. La señal PWM conecta con dos puertas lógicas NAND, y la señal Frío/Calor conecta con estas mismas dos puertas lógicas, sólo que en una de ellas se ha invertido la señal previamente. Estas puertas lógicas están conectadas a un circuito que cierra dos relés OP2 y OP4, y los otros dos relés, OP1 y OP3, se controlan con la señal Frío/Calor directamente. Cada

relé de estado sólido cierra el circuito que está alimentado a 12v y activa los transistores que alimentan la célula Peltier.

Se comenzará con la lógica, conclusiones del *Tabla 9*:

	PELTIER PWM	FRÍO/CALOR	NAND 1		PELTIER PWM	FRÍO/CALOR INV	NAND 2
1	0	0	1		0	1	1
2	0	1	1		0	0	1
3	1	0	1		1	1	0
4	1	1	0		1	0	1

Tabla 9 Lógica de control circuito de potencia

Como se puede ver en el cuadro anterior, se producen cuatro casos de funcionamiento diferentes que se analizan en el siguiente texto.

- **Caso 1: Peltier OFF**
 - PELTIER=0
 - FRÍO/CALOR=0

En este caso obtendremos una señal de salida de las puertas lógicas NAND de alto nivel. Por lo que estudiando el circuito veremos que los relés que están condicionados por las NAND, OP2 y OP4, están ambos abiertos lo cual implica que están los transistores conectados a tierra. Por otro lado, el relé OP1 estará cerrado y OP3 abierto, quedando el recorrido así:

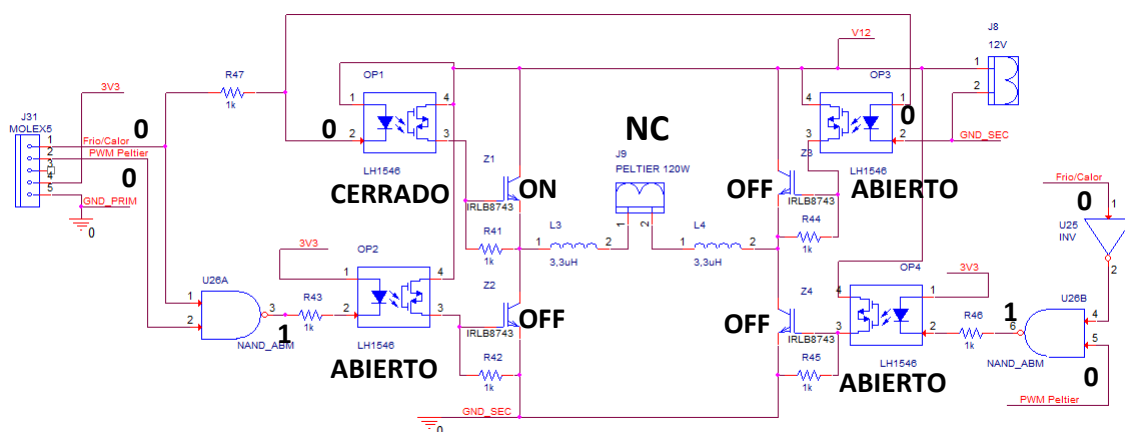


Ilustración 60 Caso de no funcionamiento célula Peltier (1)

- **Caso 2: Peltier OFF**
 - PELTIER=0
 - FRÍO/CALOR=1

En esta situación también se obtiene una señal de salida de las puertas lógicas NAND de alto nivel. Por lo que al interpretar el circuito comprobamos que los relés, OP2 y OP4, están ambos abiertos lo cual implica que están los transistores conectados a tierra. En este caso el relé OP1 estará abierto y OP3 cerrado, quedando el circuito de esta forma:

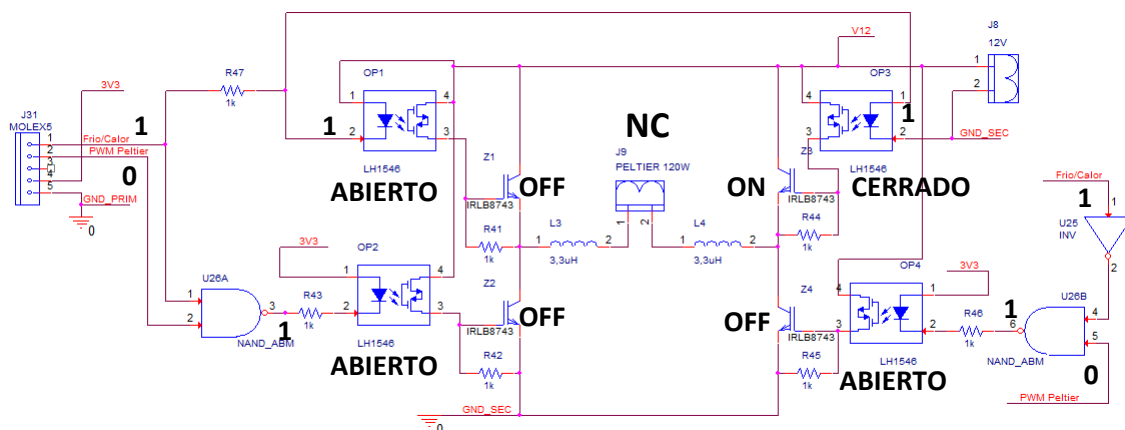


Ilustración 61 Caso de no funcionamiento célula Peltier (2)

○ **Caso 3: Peltier ON – FRÍO**

- PELTIER=1
- FRÍO/CALOR=0

En este caso la salida de la puerta NAND 1 es alta y deja abierto el relé OP2 y la salida del NAND 2 se encontrará a bajo nivel, lo que cierra el relé OP4, lo que conectará el transistor Z4 a GND. El relé OP1 estará cerrado lo que permite que el transistor Z1 deje pasar la corriente y esté a 12v y se mantiene OP3 abierto. Al estar Z1 y Z4 ON, ahora sí que pasa una corriente por el módulo termoelectrico que entra por 1 y sale por 2, logrando enfriar:

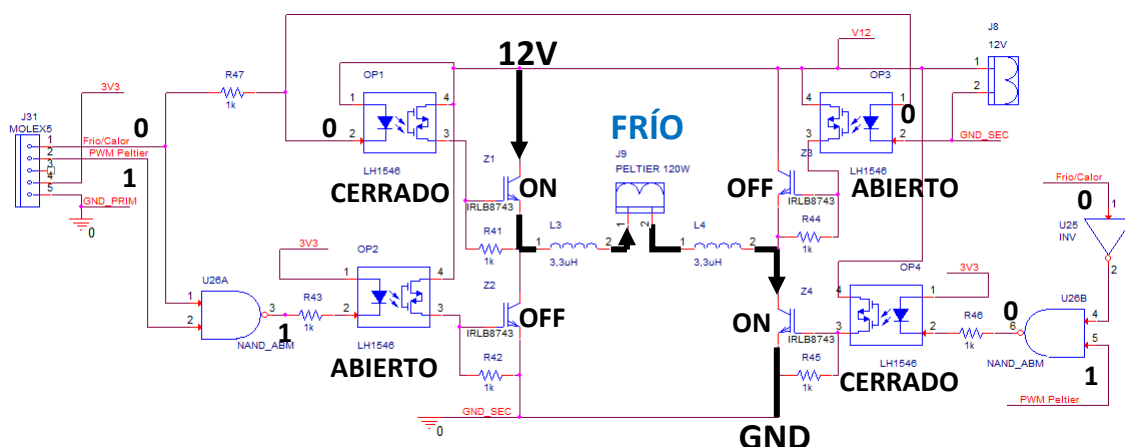


Ilustración 62 Funcionamiento FRÍO célula Peltier

○ **Caso 4: Peltier ON – CALOR**

- PELTIER=1
- FRÍO/CALOR=1

Para este caso la salida de la puerta NAND 1 está baja y deja cerrado el relé OP2 que controla el transistor Z2, ahora a GND, y la salida del NAND 2 se encontrará a alto nivel, lo que mantiene abierto el relé OP4. El relé OP1 estará abierto y en cambio el relé OP3 ahora queda cerrado, permitiendo que Z3 deje pasar la corriente y se encuentre a 12v. Tanto Z2 como Z3 se encuentran ON, por lo que sí que pasará una corriente por el módulo termoelectrico que entra por 2 y sale por 1, logrando calentar:

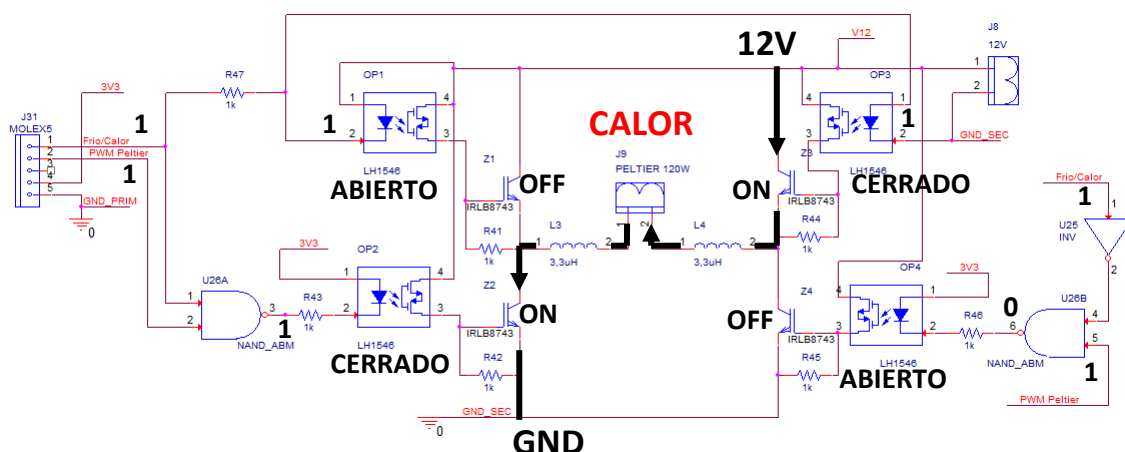


Ilustración 63 Funcionamiento CALOR célula Peltier

Como se comprueba con todos estos casos, el circuito de potencia electrónico es capaz de apagar el módulo termoelectrico cuando así se lo indica la señal PWM Peltier, sea cuál sea la señal Frío/Calor. En el caso de que la señal PWM Peltier mantenga encendida la célula Peltier, esta estará alimentada y funcionando en uno u otro sentido, conforme marque la señal Frío/Calor.

6. DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL I. FIRMWARE

Habiendo sido ya diseñado el hardware de la máquina, se deberá comenzar por la configuración e inicialización de los periféricos del sistema, temporizadores, conversores de señal, etc., que se usarán en el dispositivo. Ello representa el comienzo de la parte del desarrollo del sistema, que se verá en el presente capítulo.

Al conjunto de bloques de instrucciones máquina que se dan por un propósito específico y que establecen la lógica y actuación de más bajo nivel que controla la electrónica de un dispositivo cualquiera, se lo conoce como firmware. Se encuentra fuertemente ligado a la electrónica de un dispositivo, siendo el software que tiene directa intromisión en el hardware del dispositivo, y que permite el control y la correcta ejecución de las instrucciones externas.

En resumen, el firmware de esta máquina es el software implementado que maneja físicamente el hardware del microcontrolador.

Cabe mencionar, que tanto el firmware como el próximo capítulo que se verá de software, están programados utilizando el lenguaje de programación C. Para ello, se descarga un programa que es compilador y depurador llamado Atollic TRUESTUDIO. Es un software que ayuda a desarrollar sistemas embebidos o empotrados para toda la gama de microcontroladores de ARM, precisamente como el empleado en el presente proyecto, el STM32F100RBT6B.

6.1. LIBRERÍA DE PERIFÉRICOS PRINCIPALES

Dentro del microprocesador, encontramos una serie de periféricos controlados por el microcontrolador, a continuación se ilustran los principales diagramas de flujo de funcionamiento que forman parte de la máquina creada.

Cabe mencionar que estos diagramas de flujo se deberán seguir con el manual de la placa de desarrollo del STM32VL Discovery para su correcta ejecución, pues no se explica las posibilidades y opciones de cada posible configuración y habilitación en las siguientes figuras.

6.1.1. Puertos GPIO

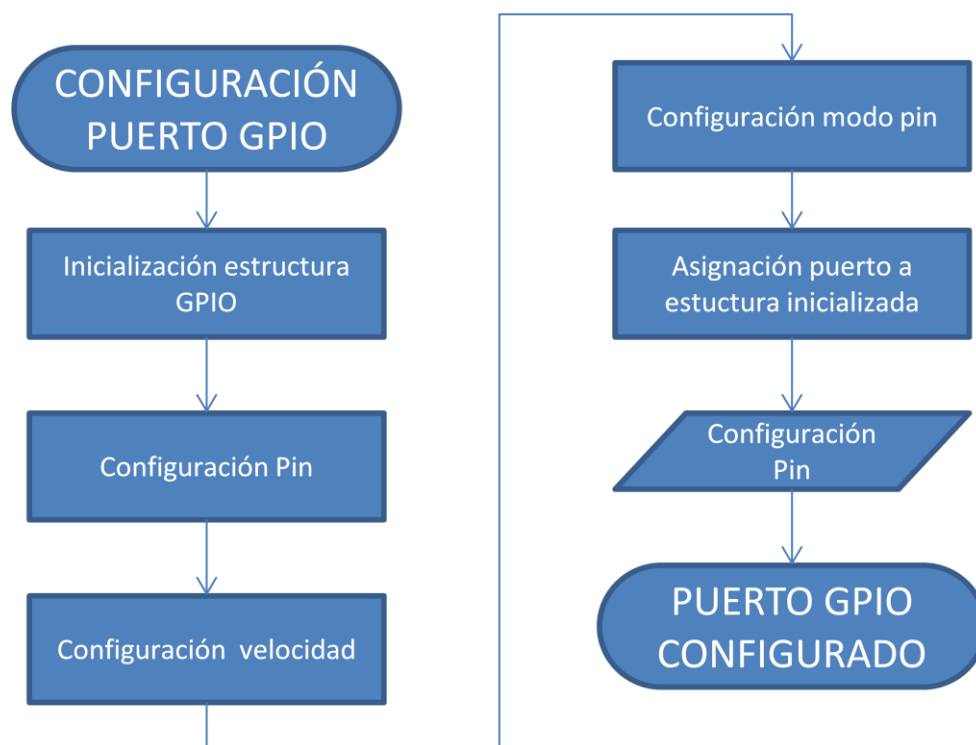


Tabla 10 Diagrama de flujo GPIO

6.1.2. Comunicación I2C

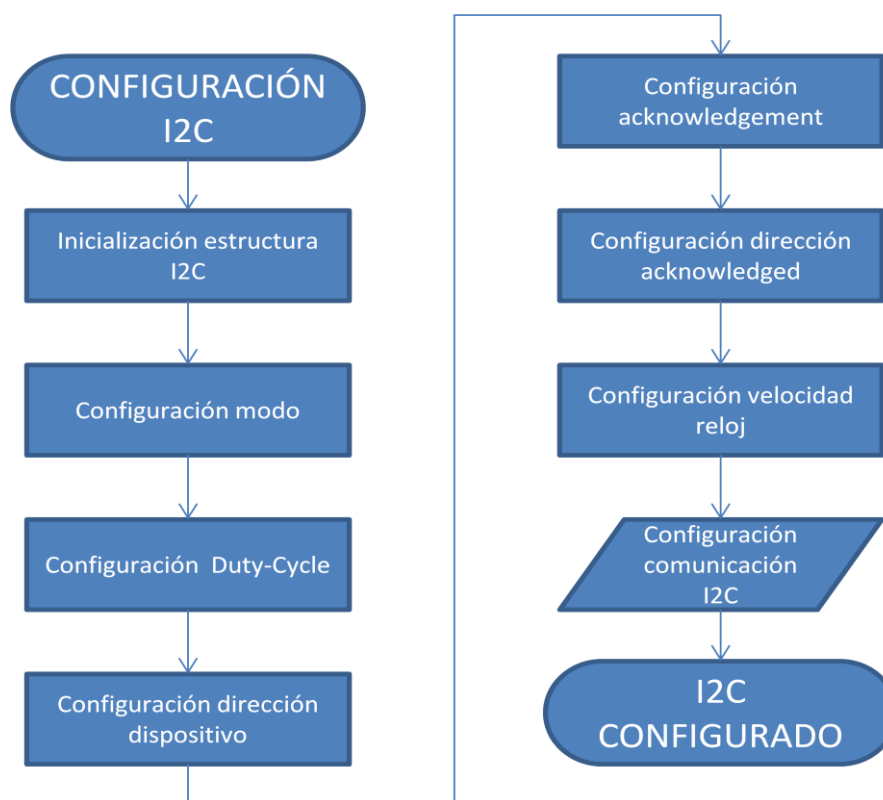


Tabla 11 Diagrama de flujo comunicación I2C

6.1.3. Comunicación USART

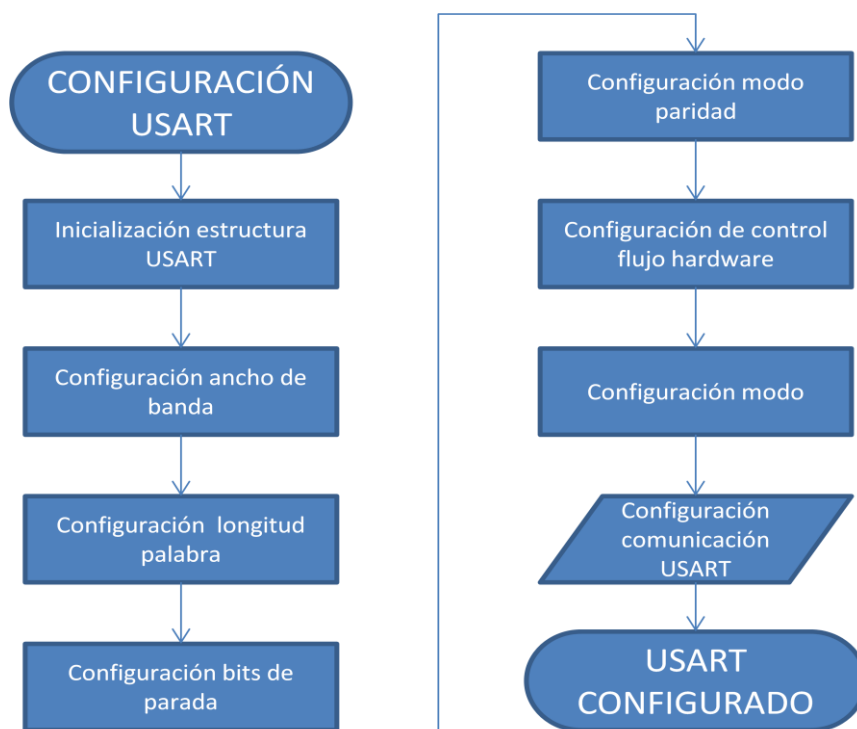


Tabla 12 Diagrama de flujo comunicación USART

6.1.4. Gestor interrupciones NVIC

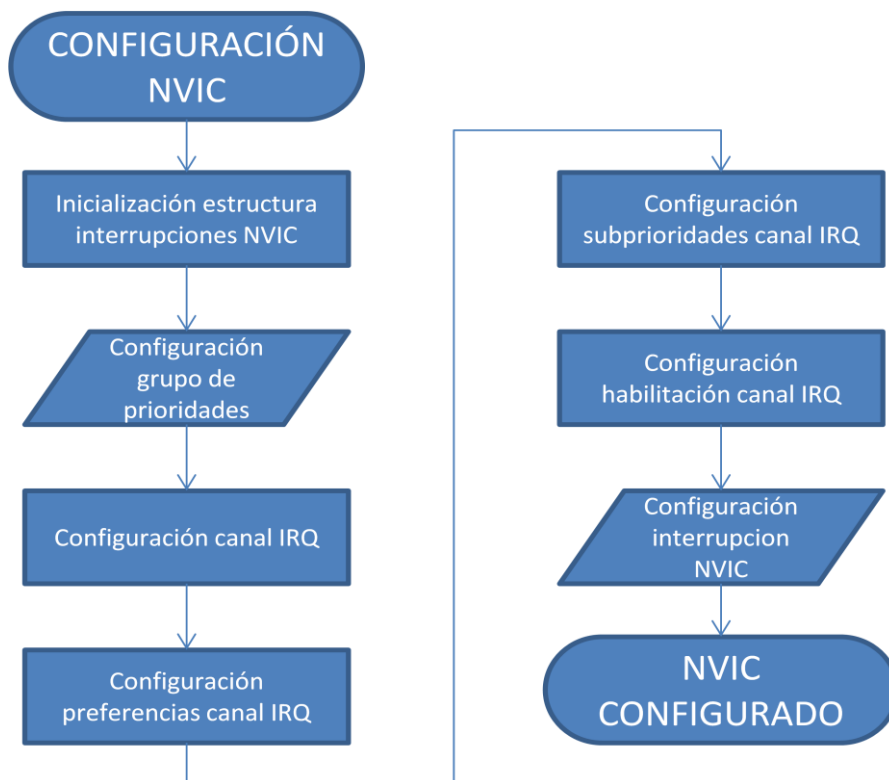


Tabla 13 Diagrama de flujo gestor de interrupciones NVIC

6.1.5. *Conversor digital analógico DAC*

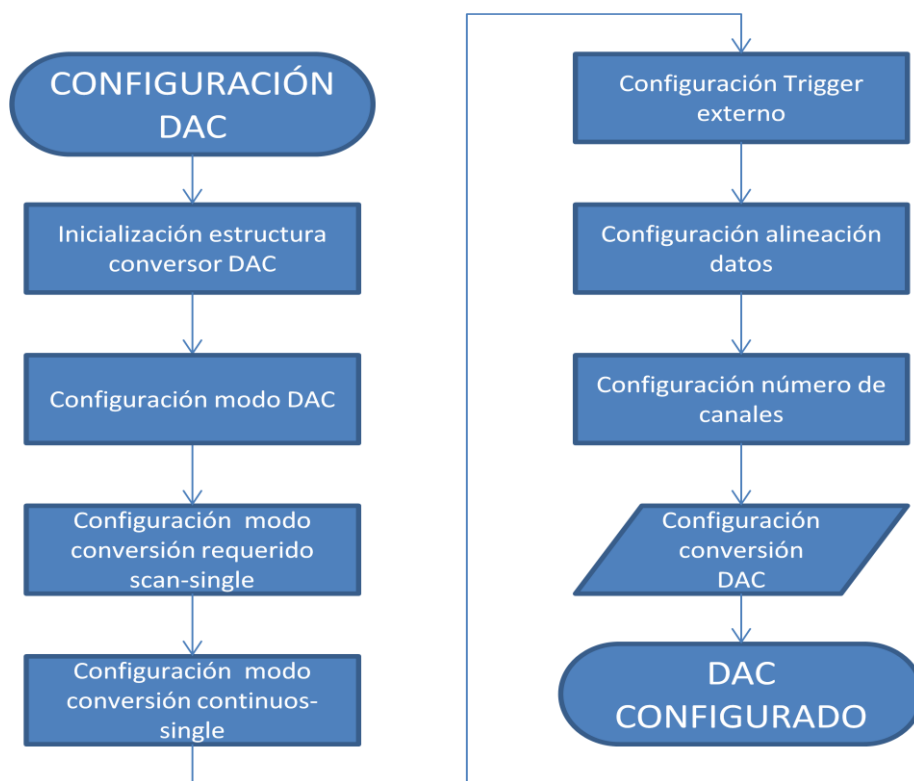


Tabla 14 Diagrama de flujo conversor DAC

6.1.6. *Conversor analógico digital ADC*

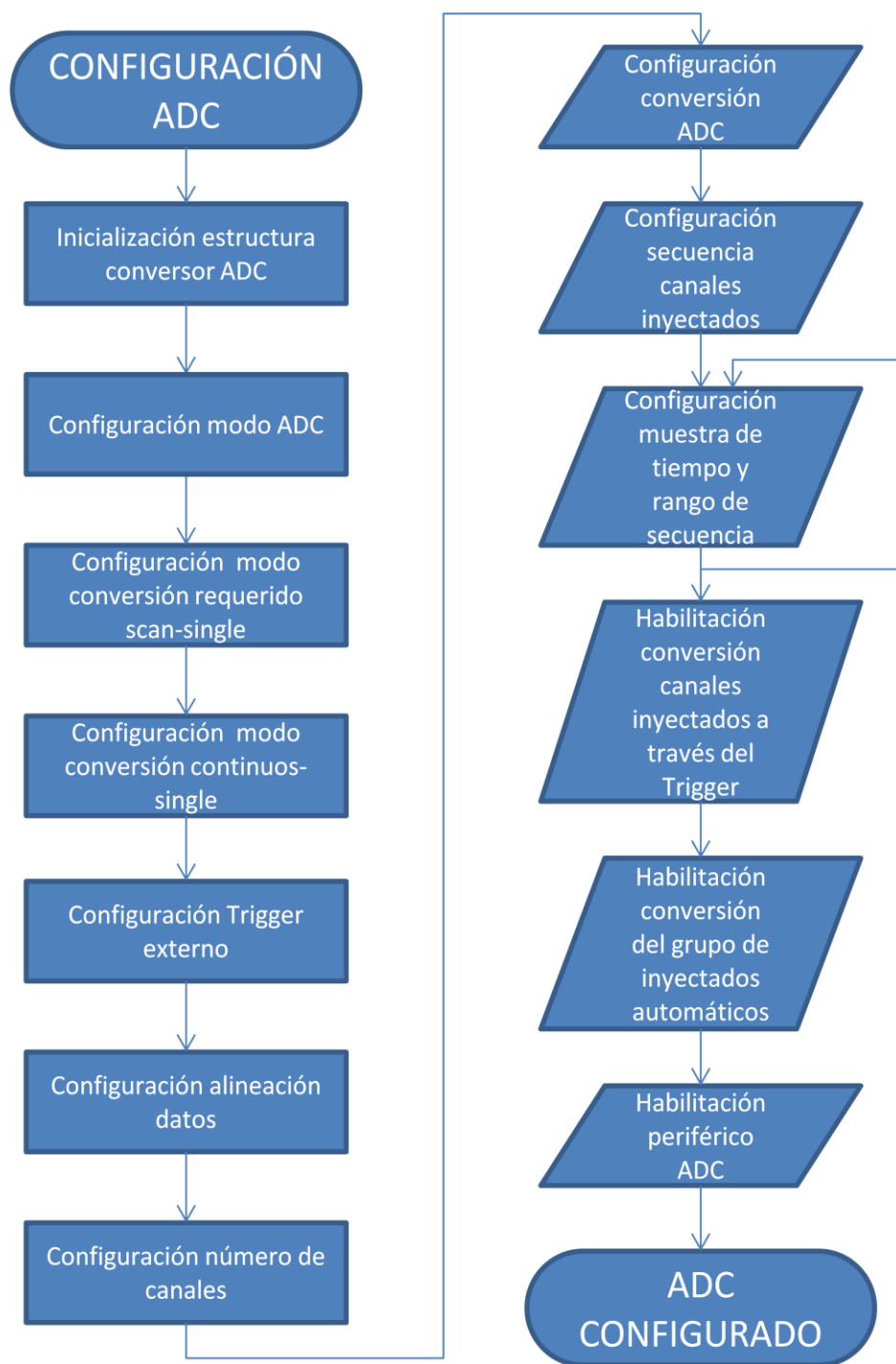


Tabla 15 Diagrama de flujo del conversor ADC

6.1.7. Reloj de tiempo real RTC

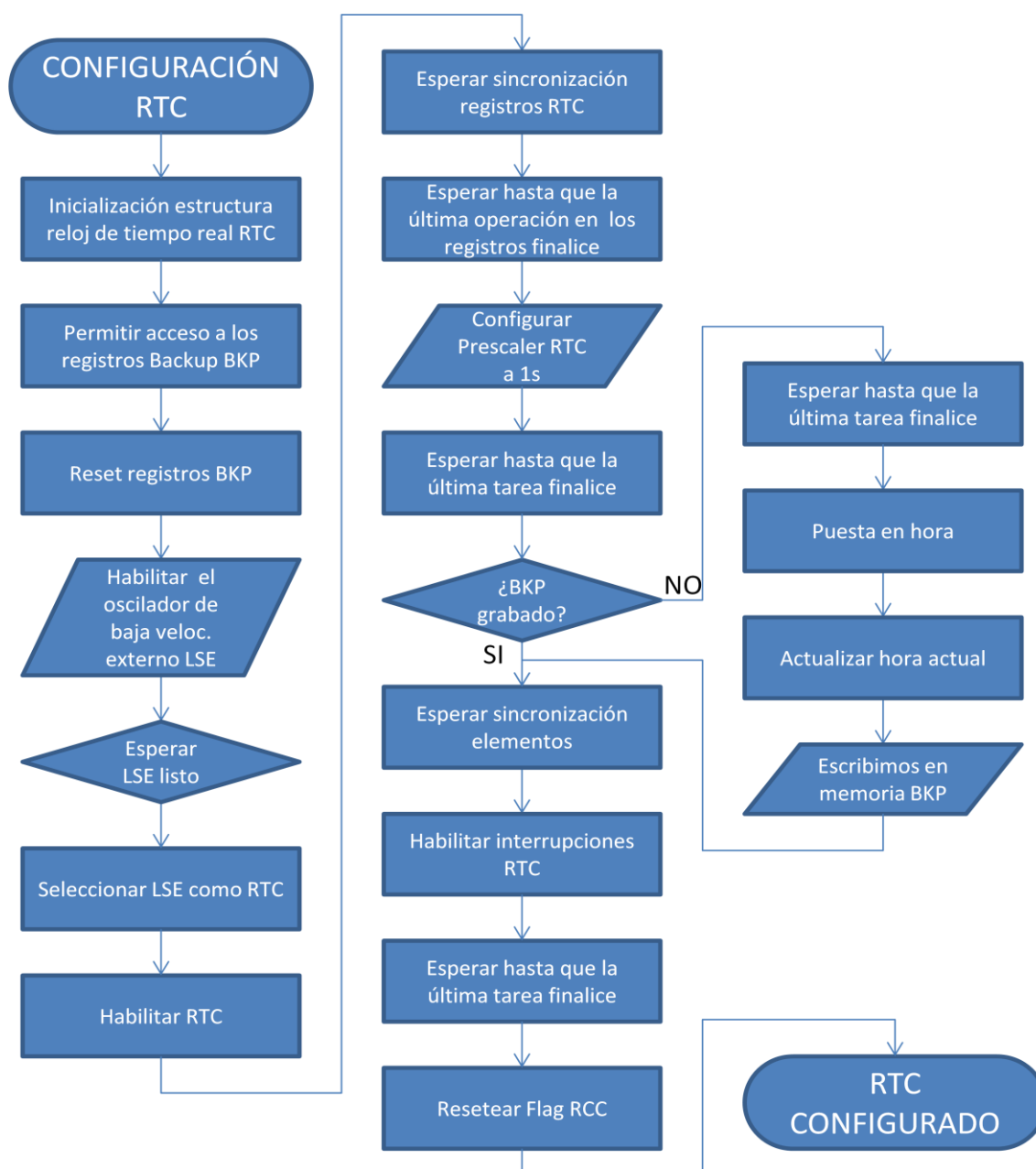


Tabla 16 Diagrama de flujo del RTC

6.1.8. *Reset y control reloj RCC*

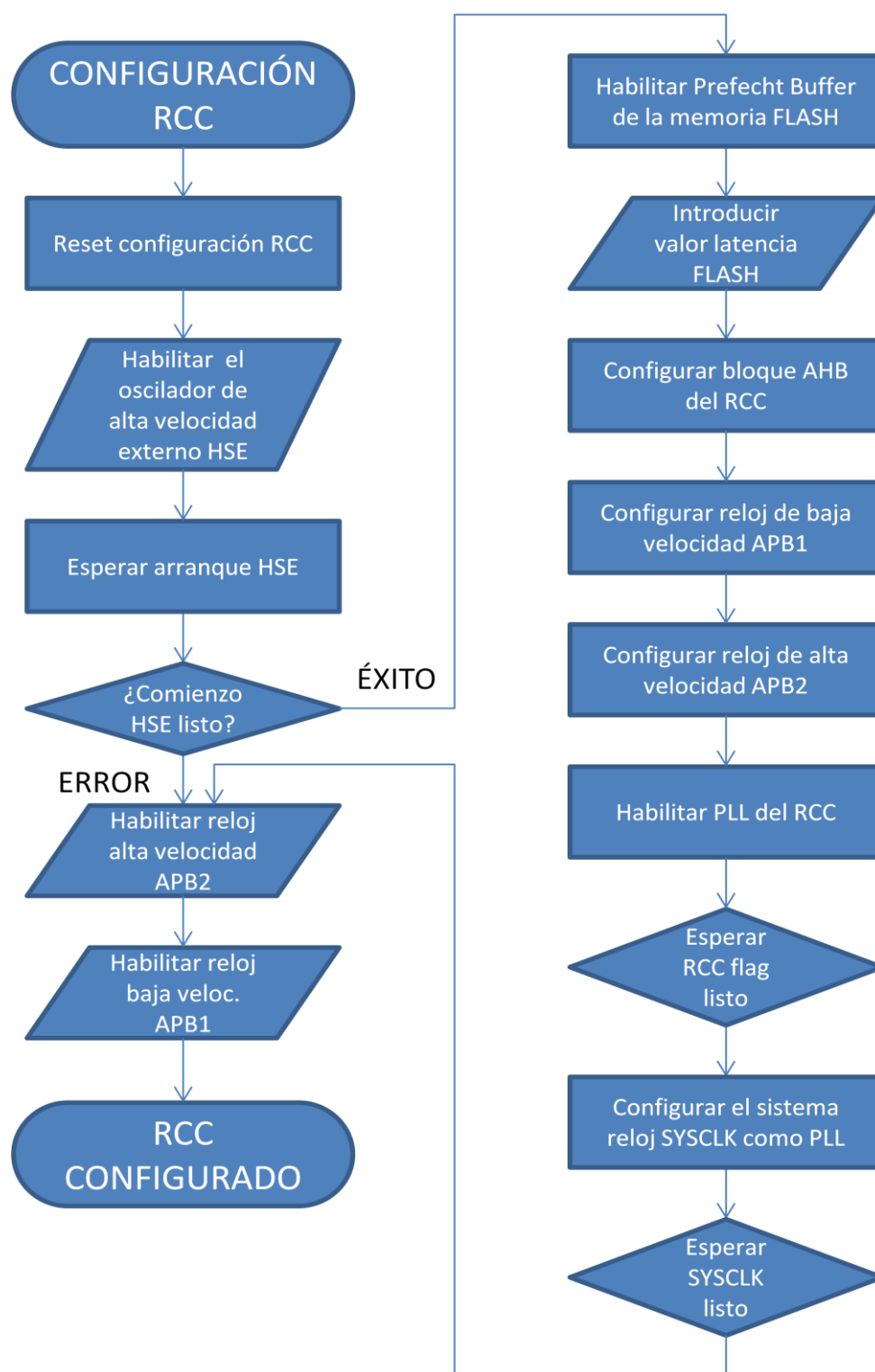


Tabla 17 Diagrama de flujo RCC

6.2. FUNCIONES TIMER 3. INTERRUPTOS PWM

Para enviar las señales PWM a los distintos actuadores, se ha hecho uso únicamente del Timer 3 con sus distintos canales de actuación. Ello permite generar las tres señales de control de la iluminación, la renovación y la célula Peltier sin tener que inicializar y configurar más de un timer del microprocesador.

Antes de pasar a la materia, se explicará brevemente qué es una señal PWM y qué uso le daremos.

La modulación por ancho de pulsos (Pulse-Width Modulation, PWM) de una señal o fuente de energía, es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga. En este caso, la segunda opción.

Todo lo que se debe tener claro es que se logra controlar los actuadores y por tanto los dispositivos de actuación modificando el ciclo de trabajo de la señal generada. Matemáticamente, el ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el período, por tanto se trata de un porcentaje:

$$D = \frac{\tau}{T}$$

- D es el ciclo de trabajo
- τ es el ancho del pulso
- T es el período de la función

A continuación, en la *Ilustración 64*, veremos un ejemplo que ilustra lo comentado con anterioridad:

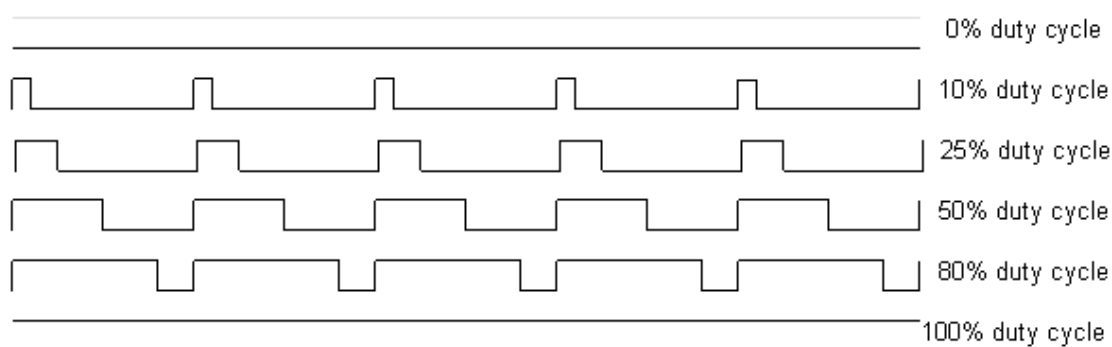


Ilustración 64 Ciclos de trabajo PWM

Antes de comenzar a usar el Timer 3, habrá que inicializarlo y configurarlo como se muestra a continuación:

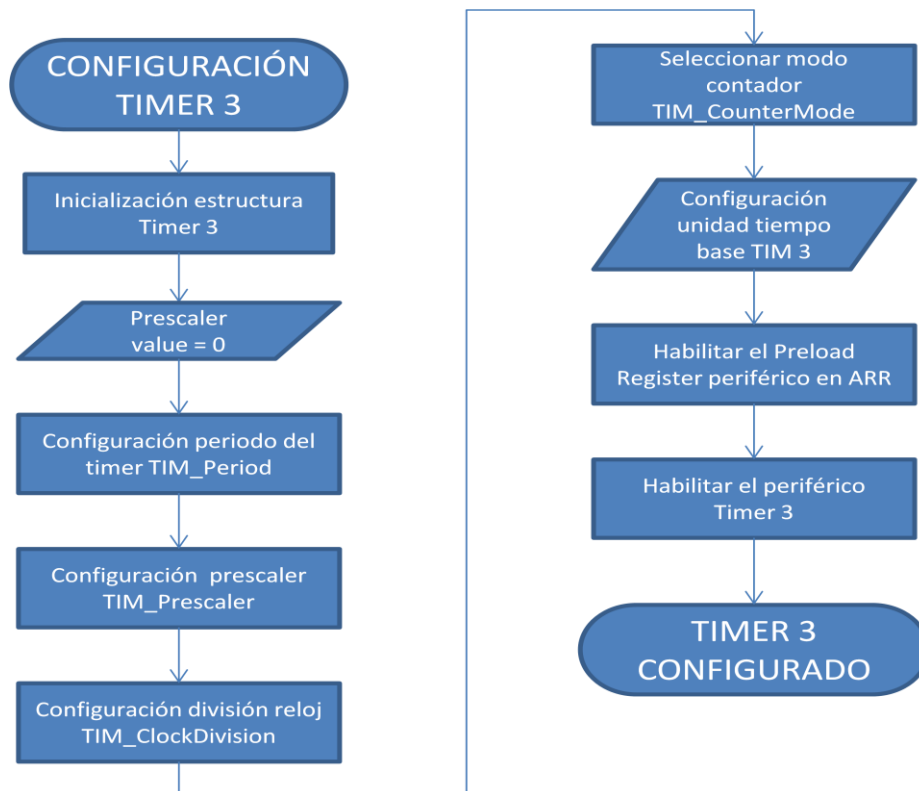


Tabla 18 Diagrama de flujo de configuración TIM 3

Finalmente, el timer 3 queda configurado con los siguientes valores:

- TIM_Period=0xFFFF
- TIM_Prescaler=PrescalerValue
- TIM_ClockDivision=0
- TIM_CounterMode=TIM_CounterMode_Up

Ya sólo quedaría configurar cada canal, pues las señales PWM que controlan cada dispositivo de actuación, son diferentes.

6.2.1. Señal PWM iluminación

Habría que configurar el canal, como se comenta previamente. En este caso, el canal para la iluminación es el 2 (TIM3_OC2).

Primero se inicializa la estructura de datos del canal y posteriormente se dan valores a cada uno de los argumentos que lo componen:

- TIM_OCMode = TIM_OCMode_PWM1;
- TIM_OutputState = TIM_OutputState_Enable;
- TIM_Pulse = CCR2_Val;
- TIM_OCPolarity = TIM_OCPolarity_High;

Este es el único canal que el ciclo de trabajo siempre crecerá desde la posición 0x0000 (0%) hasta la 0xFFFF (100%) cuando se esté simulando el amanecer, y que decrecerá desde la

posición 0xFFFF (100%) hasta la 0x0000 (0%) en el anochecer. El tiempo en el cuál crece entre estas dos posiciones es aproximadamente de unos 30min.

Para comenzar el amanecer y el atardecer se hará uso de una función declarada en el programa principal llamada PWM2_Set y que se la llamará con el valor de final del ciclo, 0x0000 (luz totalmente apagada) o 0xFFFF(luz totalmente encendida), y con la velocidad de progresión PWM_MiliSec:

```
void PWM2_Set(uint16_t Final, uint16_t PWM_MiliSec){
// Intensidad
    PWM2_Final=Final;
    Incremento = Final - CCR2_Val; // Capture Compare Registro2

    PWM2_Ratio = PWM_MiliSec; // Sumar/Restar en cada Milisegundo
    PWM2_Num = abs(Incremento);
}
```

Como puede observarse, está función establece un incremento en valor absoluto y la progresión, valores que luego serán trasladados a la interrupción que controla el SysTick:

```
// PWM LED PA7
    if(PWM2_Num){
        PWM2_timer--;
        if(PWM2_timer==0){
            PWM2_timer=PWM2_Ratio;
            if(Incremento>0)CCR2_Val++;
            else CCR2_Val--;
            PWM2_Num--;
            TIM_SetCompare2(TIM3,CCR2_Val); // Actualizamos el Timer
con el registro CCR2
        }
    }
```

Cada vez que se da un incremento, se decrementa el timer hasta que este es cero y entonces volvemos a ajustar timer e incrementamos o decrementamos el CCR2 para que el ciclo aumente o disminuya.

La frecuencia por la que cada vez que se cumple el incremento o decremento del ciclo, es relativamente grande, de kHz, para evitar que el ojo humano perciba los cambios de alto a bajo nivel en el ciclo y viceversa. Esto permite que exista una percepción constante en el nivel y cantidad de la luz, como si de una variación de la tensión constante se tratase, como un potenciómetro.

El efecto conseguido sería algo similar a lo que se pretende representar en la siguiente *Ilustración 65*, y como se ha comentado, se produciría en el transcurso de 30 minutos:

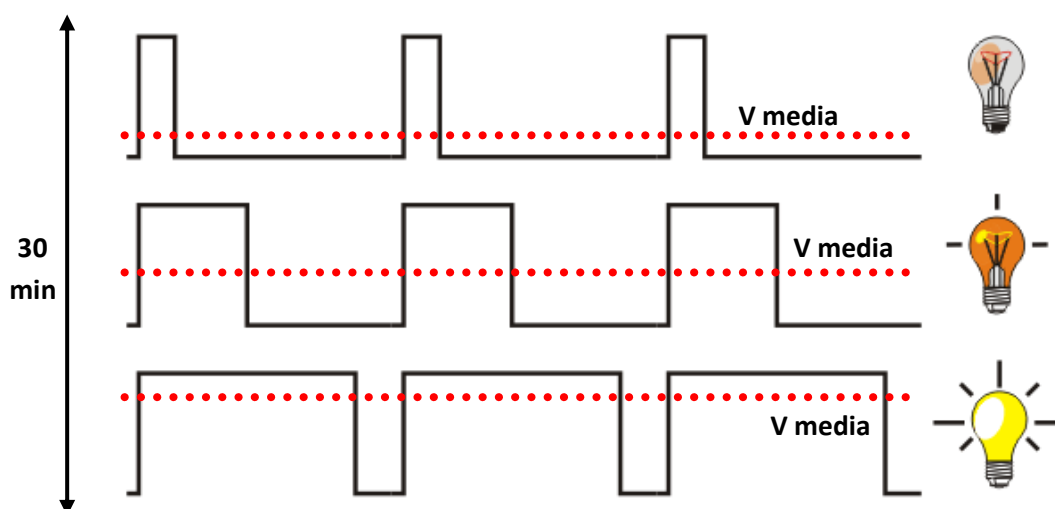


Ilustración 65 Evolución ciclo PWM iluminación

6.2.2. Señal PWM Peltier

Para este caso, como en el de la señal PWM de renovación, no hará falta iniciar el canal 1 TIM3_OC1, pues es asíncrona y únicamente se trabaja con incrementos y decrementos del registro CCR1 y con la lógica desarrollada en el programa principal.

Del programa principal sacamos el incremento o decremento con la variable PeltierDelta en función de los valores de entrada en la medición y, de nuevo, es la interrupción del SysTick la que lanza la señal PWM1:

```
// PWM Peltier PA6
if((DelayPeltier--)==0){
    DelayPeltier=DEL_PELTIER;
    CCR1_Val +=PeltierDelta;
    TIM_SetCompare1(TIM3,CCR1_Val); // Actualizamos el Timer y
registro CCR1
}
```

Como se puede apreciar, se le pone un delay al sistema para que no esté saltando continuamente, y una vez que es igual a cero, controla el registro CCR1 con el valor inicial que tenía y con los incrementos o decrementos que se le marcan desde el programa principal.

Aquí, directamente se está tocando el ciclo con saltos muy pequeños cada cierto tiempo pues se pretende tener un sistema estable y que no requiera de mucha potencia, que consuma poco. La forma de estabilizar el sistema variará mucho en función de la aplicación y el contexto en el que se encuentre, pero se podría decir que la base está afianzada para que testeando con sensores en la aplicación se consiga una temperatura estable en la urna.

Para que el sistema sea estable lo más rápido posible, se debe lograr una oscilación de temperatura críticamente amortiguada o al menos subamortiguada, pero en ningún caso sobreamortiguada. A continuación, se ilustran estos tres tipos de señales en la siguiente Ilustración 66.

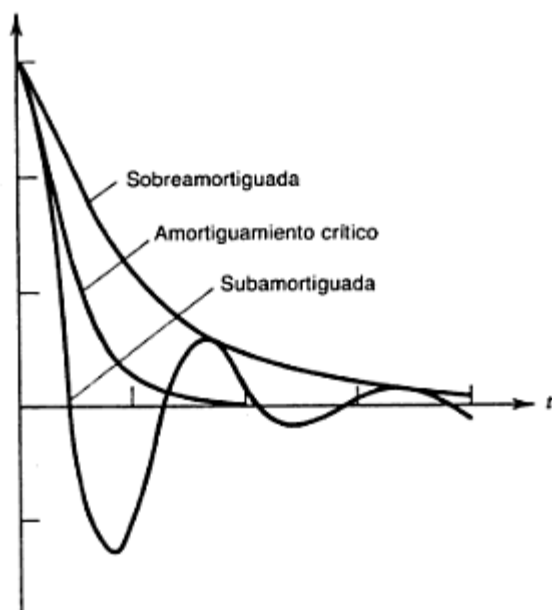


Ilustración 66 Amortiguamiento de señales

6.2.3. Señal PWM renovación

La señal PWM de renovación es muy similar al caso anterior Peltier. Como se ha comentado, no será necesario inicializar el canal 3 TIM3_OC3 puesto que el funcionamiento es asíncrono y está determinado por la lógica del programa principal.

Para la renovación, se hace uso de una variable RenovacDelta que traslada unos incrementos o decrementos al CCR3, al ciclo de trabajo, a partir de las mediciones realizadas por los sensores. Como en las señales anteriores, el SysTick lanzará de nuevo la interrupción de control de la renovación PWM3 con este código:

```
// PWM Renovacion PB0
if((DelayRenovac--)==0){
    DelayRenovac=DEL_RENOVAC;
    CCR3_Val +=RenovacDelta;
    TIM_SetCompare3(TIM3,CCR3_Val); // Actualizamos el Timer y
registro CCR3
}
```

La forma de trabajar y objetivos son exactamente iguales a los explicados en el apartado anterior, por lo que no se incidirá de nuevo sobre la explicación. El único matiz que se podría destacar, es que en este caso los incrementos del CCR3 son significativamente mayores, lo cual da una discretización menor y ello posiblemente produzca un menor control sobre el sistema, que sobreoscilará. Aunque ello no resulta muy relevante puesto que el ventilador de renovación es de 1,2W de potencia, frente a los 120W de potencia del módulo termoeléctrico, luego la necesidad de ahorrar en consumo no existe.

6.3. FUNCIONES TIMER 4. COMUNICACIÓN SONDAS

Con objeto de poder comprender y realizar correctamente las transmisiones y recepciones de datos con las sondas, que miden temperatura y humedad de la urna, se configura e inicializa el Timer 4, canal 4. Este temporizador, permite que se respeten los tiempos y el protocolo de comunicación por un cable de datos.

A continuación se muestra el diagrama de flujo correspondiente a la inicialización y configuración del Timer 4 y de uno de sus canales, el canal 4 (TIM4_OC4):

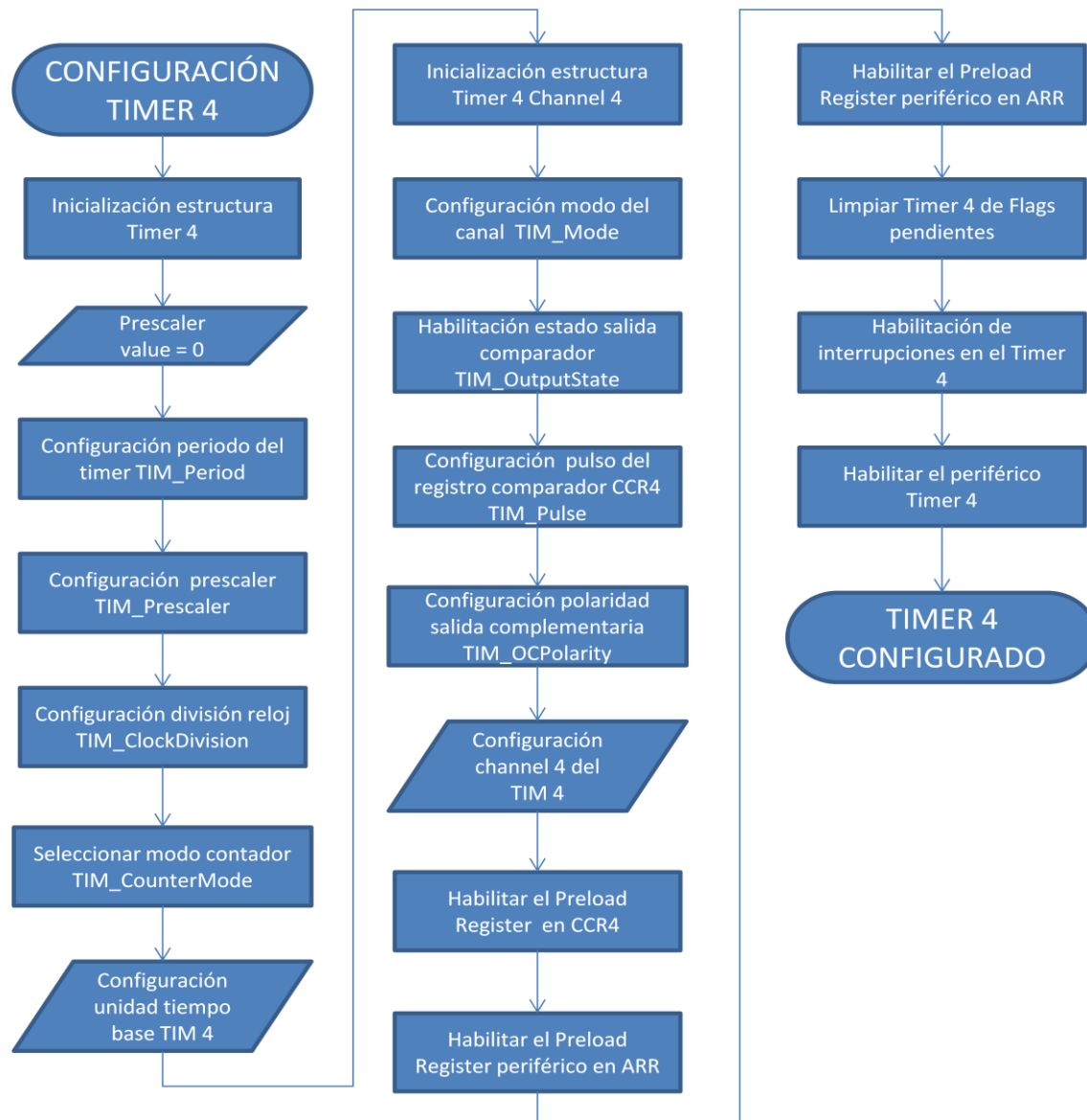


Tabla 19 Diagrama de flujo TIM4 canal 4

La configuración del Timer 4 quedará con los siguientes valores:

- TIM_Period = 65535
- TIM_Prescaler = PrescalerValue
- TIM_Prescaler = 7
- TIM_ClockDivision = 0

- TIM_CounterMode = TIM_CounterMode_Up

Y la configuración del canal 4, OC4:

- TIM_OCMode = TIM_OCMode_Toggle
- TIM_OutputState = TIM_OutputState_Enable
- TIM_Pulse = 100
- TIM_OCpolarity = TIM_OCpolarity_Low

El timer y su canal, tras haber definido e introducido las configuraciones, están listos para poder comenzar a trabajar con los sensores DS18B20 y DHT11 de temperatura y humedad.

6.3.1. Temporización DS18B20

```

/*****1-wire communication functions*****/

void onewire_reset(void) { // OK if just using a single permanently connected
device

    GPIO_ResetBits(GPIOB,PinSonda1);    // Forced output low Pin Sonda
    Delay_us( 500 );
    GPIO_SetBits(GPIOB,PinSonda1);      // output float Pin Sonda
    Delay_us( 500 );                    // wait-out remaining
    initialisation window.
}

/***** onewire_write() *****/
/*This function writes a byte to the sensor.*/
/*Parameters: byte - the byte to be written to the 1-wire */
/*Returns: */
/*****/

void onewire_write(uint8_t data) {
uint8_t count;

    RTC_ITConfig(RTC_IT_SEC, DISABLE);
    for (count=0; count<8; ++count) {
        //output_low(PinSonda);
        GPIO_ResetBits(GPIOB,PinSonda1);
        //Delay_us( 10); // pull 1-wire low to initiate write time-slot.
        //output_bit(PinSonda, shift_right(&data,1,0)); // set output
        bit on 1-wire
        if(data & 0x01)    GPIO_SetBits(GPIOB,PinSonda1);
        else    GPIO_ResetBits(GPIOB,PinSonda1);
        data>>=1;
        Delay_us( 70 ); // wait until end of write slot.
        //output_float(PinSonda); // set 1-wire high again,
        GPIO_SetBits(GPIOB,PinSonda1);
        Delay_us( 10 ); // for more than 1us minimum.
    }
    RTC_ITConfig(RTC_IT_SEC, ENABLE);
}

```

```

/***** read1wire() *****/
// This function reads the 8 -bit data via the 1-wire sensor.
// Parameters:
// Returns: 8-bit (1-byte) data from sensor
/*****/

uint8_t onewire_read(void) {
uint8_t count, data, bit;
data=0;

    for (count=0; count<8; ++count) {
        GPIO_ResetBits(GPIOB, PinSonda1); // Force low Pin Sonda
                                           // Delay 3
us to initiate read time-slot.
        GPIO_SetBits(GPIOB, PinSonda1); // Output float Pin
Sonda
        for (bit=0; bit<DEL_READ; bit++); // Delay de muestreo
        //GPIO_SetBits(GPIOC, LedPAzul);
        bit=GPIO_ReadInputDataBit(GPIOB, PinSonda1);
        //GPIO_ResetBits(GPIOC, LedPAzul);
        data >>= 1;
        data |= (bit<<7);
        Delay_us( 60 ); // wait until end of read slot.
    }
    return( data );
}

/***** DS18_read *****/
Leer temperatura:
El resultado es la temperatura * 16
/*****/
int16_t DS18_read(void){
    uint8_t busy=0, temp1, temp2;
    int16_t result;

    while (busy == 0) // Esta ocupado
        busy = onewire_read();
    onewire_reset();
    onewire_write(0xCC); // Skip Rom
    onewire_write(0xBE); // Read Scratchpad
    //GPIO_SetBits(GPIOC, SigAux1);
    temp1 = onewire_read(); // LSB Temperatura
    //GPIO_ResetBits(GPIOC, SigAux1);
    temp2 = onewire_read(); // HSB Temperatura
    //tH=onewire_read(); // TH Reg.
    //tL=onewire_read(); // TL Reg.
    //DS18_Resolution=onewire_read()>>5; // Conf Reg
    result = (temp2*256)+ temp1;
    //result >>= (DS18_Resolution+1);
    onewire_reset();
    onewire_write(0xCC);
    onewire_write(0x44); // Convert T
    onewire_read();
    return(result);
}

```

6.3.2. *Temporización DHT11*

```

int8_t DHT11GetData(uint8_t* pData){
    uint16_t Timer;
    uint8_t suma=0;
    uint8_t old=0;
    uint8_t new=0;
    uint8_t Data;
    uint8_t DatError=1;

    GPIO_ResetBits(GPIOB,PinSonda2); // Start
    // GPIO_ResetBits(P_SigAux,SigAux1); // Test
    Delay_ms(20); // cuando el SysTimer es 1 ms
    GPIO_SetBits(GPIOB,PinSonda2);
    // GPIO_SetBits(P_SigAux,SigAux1); // Test
    while(GPIO_ReadInputDataBit(GPIOB,PinSonda2));

    TIM_SetCounter(DHT11_Timer,0);
    while((TIM_GetCounter(DHT11_Timer))<DHT11_TimerOut){
        new=GPIO_ReadInputDataBit(GPIOB,PinSonda2);
        // if(new)GPIO_SetBits(P_SigAux,SigAux2); // Test
        // else GPIO_ResetBits(P_SigAux,SigAux2); // Test

        if(new!=old){ // Transicion
            old=new;

            if(new!=0){ // Dato = L-> H
                Timer=TIM_GetCounter(DHT11_Timer);
                TIM_SetCounter(DHT11_Timer,0);
                // GPIO_SetBits(P_SigAux,SigAux2); // Test

                if(Timer>TEMP_MEDIA) Data = (Data <<1) | 0x01;
                else Data = (Data <<1) & 0xFE;

                if((counter++)==7){ // completamos un octeto
                    counter=0;
                    if(Data==suma) DatError=0; // Solo ocurrira
                    en el ultimo
                    suma+=Data;
                    *pData=Data; // Exportamos los datos
                    pData++;
                    // GPIO_ToggleBits(P_SigAux,SigAux1); // Test
                }
            } // Dato H -> L
            // else {
            //     GPIO_ResetBits(P_SigAux,SigAux2); // Test
            // }
        }
    }
    return DatError;
}

```

6.4. DISTRIBUCIÓN MEMORIA EEPROM

Como ya se había comentado en otro capítulo, la memoria EEPROM es un dispositivo comunicado a través del protocolo I2C. Es de 64kbit y está organizado como un bloque simple de 8k x 8-bit. Por tanto, se tiene desde la dirección 0x0000 hasta la dirección 0x1FFF para almacenar datos.

La memoria se distribuyó en cuatro bloques, se definieron unas constantes (1.) que delimitaban las zonas, posteriormente se almacenaban los datos haciendo uso de la función I2C_master_BufferWrite (2.) y en caso de querer acceder a ellos se hace mediante la función I2C_Master_BufferRead (3.). Para leer o grabar datos se declaró un puntero de 8bits llamado pBuffer que luego sabía cuantos datos había que transmitir gracias a la variable NumByteToRead o NumByteToWrite:

1.


```
#define DirParam          0x0000
#define IndexTabla        0x0200
#define DirTexto          0x0400
#define DirSeno           0x1800
```
2.


```
StatusType I2C_Master_BufferWrite(I2C_TypeDef* I2Cx, uint8_t* pBuffer,
uint8_t I2C_Device,uint16_t MemAddress, uint32_t NumByteToWrite);
```
3.


```
StatusType I2C_Master_BufferRead (I2C_TypeDef* I2Cx, uint8_t* pBuffer,
uint8_t I2C_Device,uint16_t MemAddress, uint32_t NumByteToRead);
```

La memoria quedó definida en cuatro bloques de información diferentes como se muestra en la *Tabla 20*, donde se puede apreciar tanto la función que se quiso a dar cada una de las divisiones como el tamaño del espacio reservado por cada división, con las direcciones de inicio y cierre:

0x0000	DirParam:	512B
0x01FF	Parámetros registrados y de configuración	
0x0200	IndexTabla:	512B
0x03FF	Vacio	
0x0400	DirTexto:	5kB
0x17FF	Mensajes display	
0x1800	DirSeno:	2kB
0x1FFF	Matriz ángulo(0º-90º)-seno ángulo	

Tabla 20 Bloques memoria EEPROM

El primer bloque está formado por 512 bytes (0x0000-0x0200) con el sentido de almacenar los datos y parámetros que el sistema hace uso de forma habitual y continuada. Valores máximos y mínimos registrados, configuraciones de temperatura y humedad, saltos de alarma y la fecha y hora, son algunos ejemplos.

El segundo bloque consta de nuevo de 512 bytes (0x0200-0x0400) y es una parte reservada para desarrollar tablas de datos. En este momento no se ha dado uso de esta zona de memoria.

El tercer bloque es el más grande, albergando 5kB (0x0400-0x1800) y es un espacio reservado para los mensajes que nos irán apareciendo por el display. Todos los menús de manejo del equipo, alertas, errores o mensajes informativos están guardados en esta zona de la memoria.

Por último, se define un bloque de 2kB (0x1800-0x2000) en el cual se implementarán una matriz que con valores decimales de 0º a 90º y los valores correspondientes seno de 0 a 1. De esta forma se puede generar una función seno propia, que recorra los 360º, y se obvian las funciones aritméticas que vienen en el microprocesador, de mayor peso.

7. DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL II. SOFTWARE

El dispositivo ya alberga todos los componentes hardware y se ha desarrollado todo el firmware de la máquina de control, por lo que se encuentra listo para comenzar el desarrollo lógico del sistema de control.

A continuación, se definirán el conjunto de los programas de cómputo, procedimientos, reglas, documentación y datos asociados, que forman parte de las operaciones del sistema de computación, es el software del dispositivo. Como en el capítulo anterior, todo este conjunto de reglas y lógica será programado en lenguaje C a través del programa Atollic TRUESTUDIO.

El presente capítulo se dividirá en cinco partes viéndose las principales rutinas de la máquina, las máquinas de estado automáticas, la máquina de estado de actuaciones, funciones de soporte y funciones alternativas, en este orden.

7.1. INICIALIZACIÓN, RESET Y MAIN DEL PROGRAMA

En esta parte del capítulo se estudia la lógica principal del programa, esto es, cómo se realiza la inicialización tras un reset o apagado del sistema y qué lógica va describiendo el main() o programa principal, una vez lanzado e inicializado el programa.

La inicialización es muy simple, se produce tras un reset o apagado del sistema y se trata de llamar a las funciones de inicialización y configuración de periféricos, temporizadores, y otros elementos estudiados en el capítulo anterior de la memoria. A continuación, salta un mensaje de bienvenida que pondrá "INICIO CLIMA" para que sepamos que el programa se iniciando. Por último, se comprueba si los datos registrados por el usuario, como la fecha y hora, condiciones climáticas, alarmas, etc., quedaron registradas. En caso negativo, saltaremos al panel display para su configuración y en caso afirmativo, saltará la pantalla de modo en espera y comenzaremos con el bucle principal del programa.

En la *Tabla 21* podemos ver el diagrama de flujo que sigue todo el proceso de inicialización.

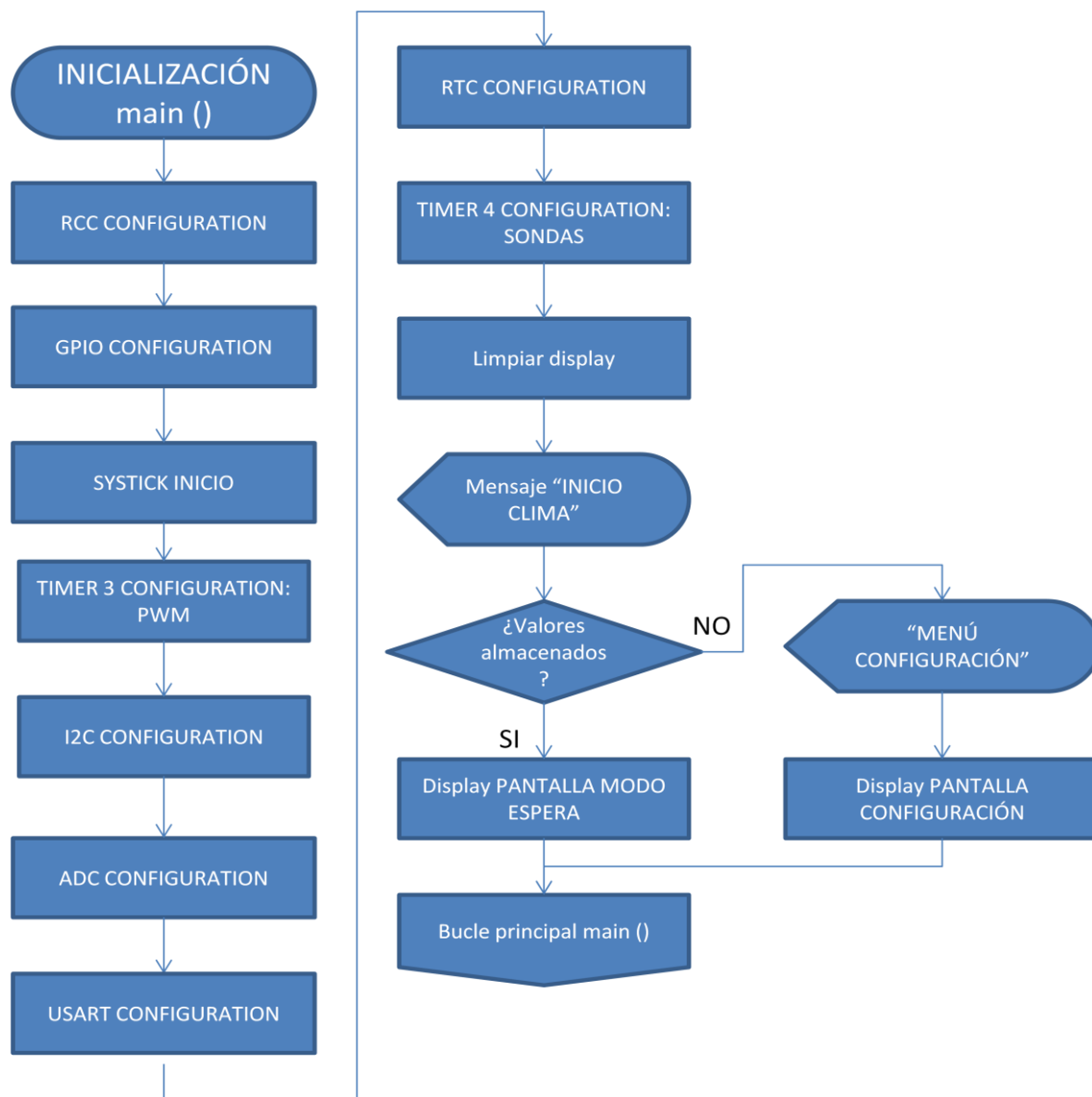


Tabla 21 Diagrama de flujo inicialización dispositivo

El bucle principal del main() es la parte del programa que se encarga de dirigir, conforme a unas necesidades y entradas tomadas, las funciones y argumentos que deben ir saltando para lograr la funcionalidad deseada en el aparato .

El aparato está básicamente controlado por unas variables de tiempo que se han creado a partir de la interrupción RTC_IRQHandler, del reloj de tiempo real. Conforme pasa el tiempo, las variables alcanzan un valor determinado de 1s, 10s, 1min, 1h y entonces estas se van poniendo a nivel alto. Este nivel alto de la variable implica que el programa se dirija por un recorrido concreto y realice los procesos que se encuentran en esos bucles. Esos procesos generalmente son una llamada a una máquina automática, mediciones, operaciones de grabación de datos como se puede ver en el programa descrito a continuación:

```

/* Acciones a realizar cada hora */
if(RTC_Hor){
    RTC_Hor=0;
    SaveTerrarioConfig(1);
}

```



```

/* Acciones a realizar cada minuto */
    if(RTC_Min){
        RTC_Min=0;
        SaveTerrarioConfig(1);
        CalendarioSolar(TRRLatitud);
        SistemaLuz(Acc_Luz);
    }

/* Acciones a realizar cada 10 segundos */
    if(RTC_10Sec){
        RTC_10Sec=0;
        SistemaPeltier();
        SistemaRenovacion(Acc_Renovac);
    }

/* Acciones a realizar cada segundo */
    if(RTC_Sec) {
        RTC_Sec=0;
        SaveTerrarioConfig(1);
        SistemaLluvia(0,Acc_Lluvia);
    }

// Enviar Fecha/Hora leer tª h% y procesarlas, o manejar display
    Time=RTC_Segundo_dia(&SystemHora);
    Date=RTC_DiaAño(&SystemFecha);
    RTC_Hora_dia(&SystemHora,Time);
    RTC_MesDia(&SystemFecha,Date);
    SystemTemperatura.TSonda1=DS18_read(); // Leer temperatura
                                                Sonda 1
    DHT11GetData(&SystemDHT11);                // Leer temperatura
                                                y humedad Sonda 2

    Display (DM_Estado=55555);
    STM32vldiscovery_LEDToggle(LED3); // Conmutar led placa
                                        cada segundo

// Establecer Temperaturas y Humedades Max y Min con fecha/hora
    SetTempMax1();
    SetTempMin1();
    SetTempMax2();
    SetTempMin2();
    SetHumMax2();
    SetHumMin2();

} // Tareas a realizar cada segundo

```

Mientras el programa se encuentre en el bucle principal, el display se encontrará en un modo de espera, pero con la ayuda del joystick podremos entrar, por ejemplo, en la configuración del equipo o la lectura de valores registrados. Una vez se salga de este estado, el display volverá a su modo de espera.

El bucle principal también tiene una entrada que es por pulsador para poder reiniciar el dispositivo y volver a inicializar el equipo según se veía en la *Tabla 21*.

7.2. MÁQUINA SECUENCIAL. ALARMAS

Dentro del bucle principal del main() encontramos la máquina secuencial de estados de Moore, y se crea para controlar las alarmas del sistema. En caso de que salte la alarma, el dispositivo realiza acciones para salir de ese estado y avisa visualmente del estado en el que se encuentra. Los saltos de alarma se producen por exceso o déficit de humedad y temperatura necesaria y por ejemplo, en el caso de que hubiese exceso de humedad y temperatura, la célula Peltier se pondría a funcionar a máxima potencia, la renovación saltaría y se pondría a máxima potencia también y no se permitiría el salto de la bomba del sistema de lluvia.

Cada 10 segundos se actualizan las temperaturas y humedades de la urna y se comparan con las entradas que hacen saltar las alarmas (TAlarma_LS, TAlarma_LI, HAlarma_LS y HAlarma_LI):

```
// Lógica salto entradas alarmas. 10 repeticiones (100s) para saltar
SystemTemperatura.TAlarma_LS= TNecesaria +
SystemTemperatura.DesvAlarmaT;
SystemTemperatura.TAlarma_LI= TNecesaria -
SystemTemperatura.DesvAlarmaT;

SystemHumedad.HAlarma_LS= HNecesaria +
SystemHumedad.DesvAlarmaH;
SystemHumedad.HAlarma_LI= HNecesaria -
SystemHumedad.DesvAlarmaH;
if(SystemTemperatura.TSonda1>SystemTemperatura.TAlarma_LS
|| SystemTemperatura.TSonda1 >= 42){
    rep1++;
    if(rep1==10){
        SmAlarmaT_LS=ON;
        SmAlarmaT_LI=OFF;
        rep1=0;
    }
}
else{
    rep1=0;
    SmAlarmaT_LS=OFF;
}
if(SystemTemperatura.TSonda1<SystemTemperatura.TAlarma_LI
|| SystemTemperatura.TSonda1 <= 5){
    rep2++;
    if(rep2==10){
        SmAlarmaT_LI=ON;
        SmAlarmaT_LS=OFF;
        rep2=0;
    }
}
else{
    rep2=0;
    SmAlarmaT_LI=OFF;
}
if(SystemDHT11.Humedad>SystemHumedad.HAlarma_LS ||
SystemDHT11.Humedad >= 99){
    rep3++;
    if(rep3==10){
        SmAlarmaH_LS=ON;
```

```

        SmAlarmaH_LI=OFF;
        rep3=0;
    }
}
else{
    rep3=0;
    SmAlarmaH_LS=OFF;
}
if(SystemDHT11.Humedad<SystemHumedad.HAlarma_LI ||
SystemDHT11.Humedad <= 20){
    rep4++;
    if(rep4==10){
        SmAlarmaH_LI=ON;
        SmAlarmaH_LS=OFF;
        rep4=0;
    }
}
else{
    rep4=0;
    SmAlarmaH_LI=OFF;
}
}
}

```

Tras estos procesos, el programa siempre recorre la máquina secuencial de las alarmas. Esta máquina hace uso de las entradas que hacen saltar las alarmas y con el método de Moore se nos queda una máquina secuencial de nueve estados, como la de la *Ilustración 67*. Se obvian las entradas que se siguen produciendo por legibilidad del dibujo:

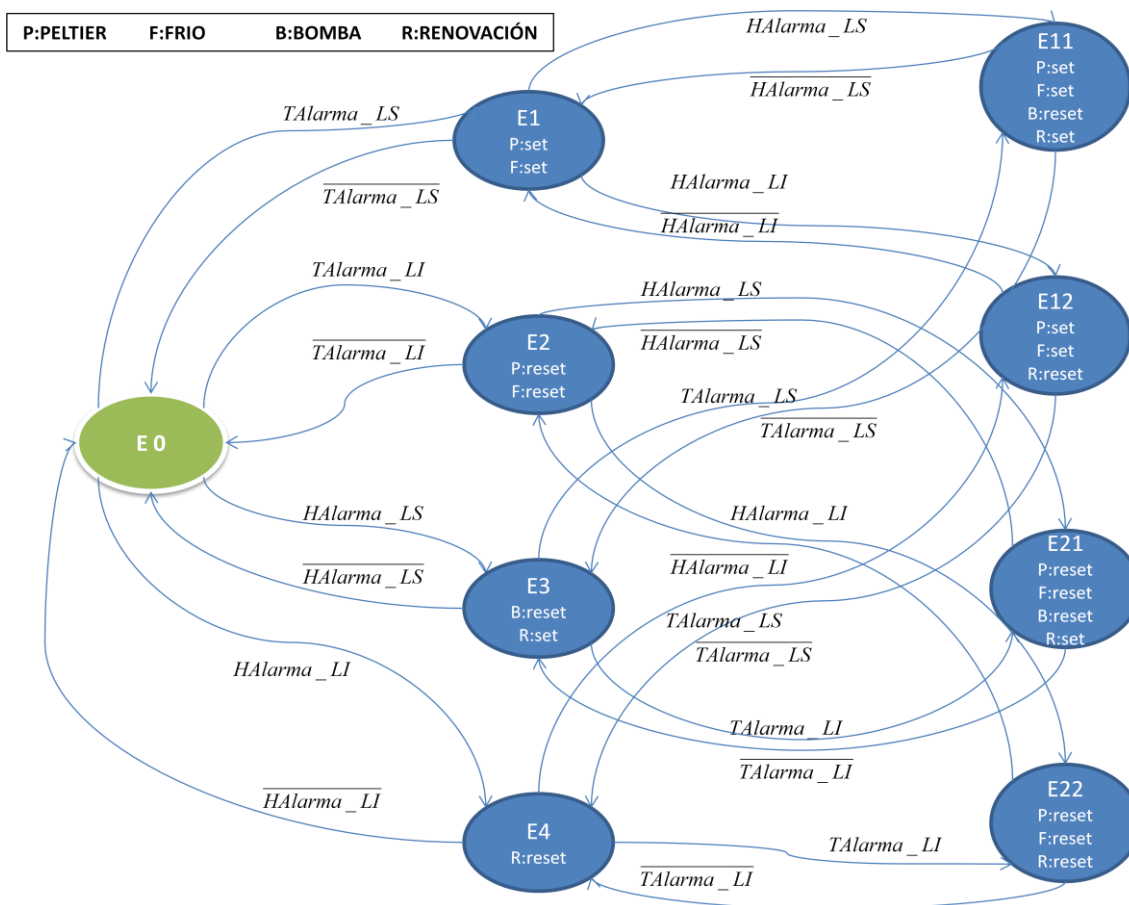


Ilustración 67 Máquina de Moore del sistema de alarmas

7.3. MÁQUINAS AUTOMÁTICAS DE CONTROL

Son varias las máquinas automáticas que ejecutan operaciones y acciones cuando son llamadas por las funciones del programa principal, vistas en el apartado anterior. Todas estas máquinas son independientes del flujo del programa y no lo paran, con excepción del display que sí que es una máquina de estados estructurada con un switch, y realiza paradas en el programa para tomar lecturas de datos introducidos por el joystick. Por tanto, se podría decir que el dispositivo de control es multitarea.

7.3.1. Display

El display es una máquina secuencial de estados como las alarmas, sólo que habitualmente se encuentra en el modo de espera reflejando los valores actuales de temperaturas y humedades. Cuando se hace uso del joystick, se entra en el menú de configuración, donde se podrán modificar las condiciones climáticas, alarmas, hora/fecha y localización, y también se podrá acceder al accionamiento manual de los dispositivos de actuación y la temporización de la lluvia, o ver los valores máximos y mínimos registrados y resetear estos valores.

En la siguiente *Ilustración 68* se puede ver un esquema del menú de la pantalla y en la *Tabla 22* el diagrama de flujo del display:

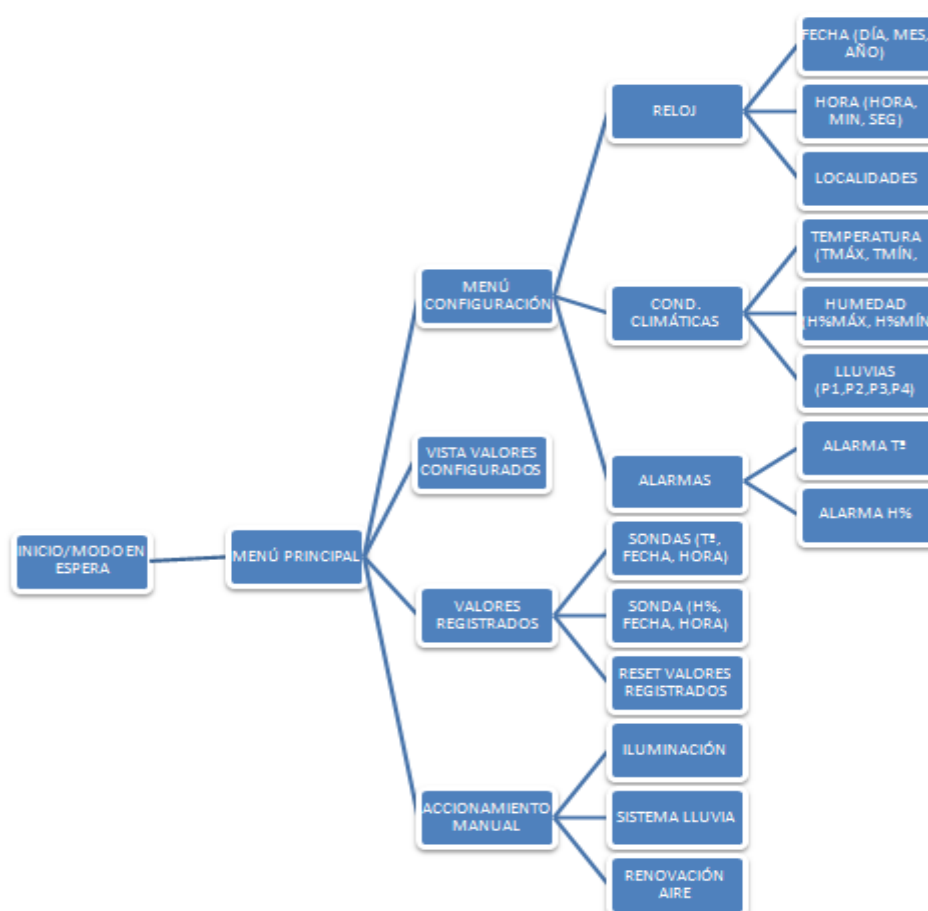


Ilustración 68 Esquema menú pantalla

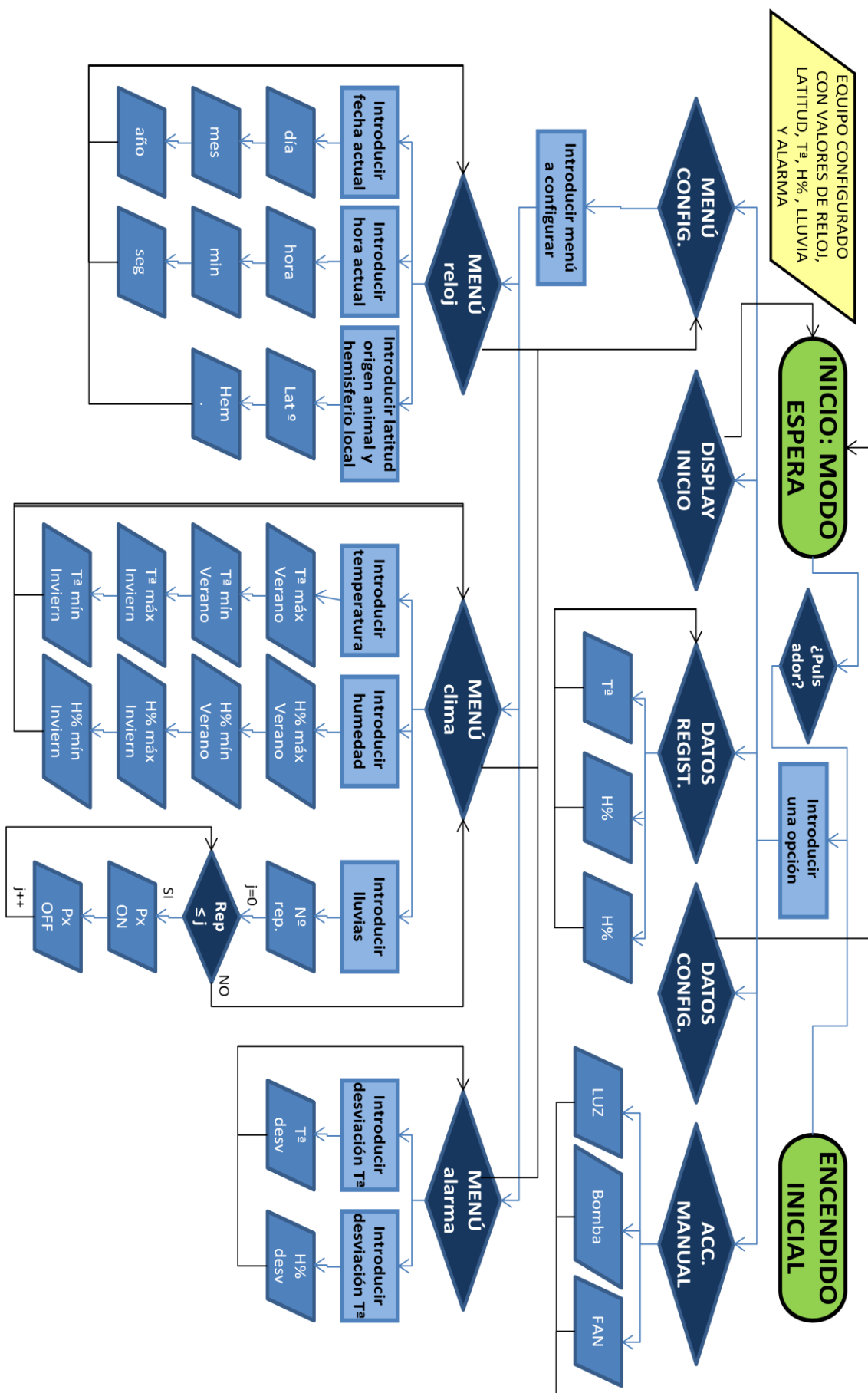


Tabla 22 Diagrama de flujo display

7.3.2. Sistema climatización

Una de las máquinas es un termostato avanzado que controla la célula Peltier. Activa las salidas PWM_Peltier y Frío/Calor del microprocesador a partir de unos valores máximos y mínimos del verano e invierno introducidos por teclado y la fecha y hora. Esta máquina salta cada ciertos segundos establecidos por el programa, pero actúa independientemente a este, por lo que el módulo termoeléctrico puede estar enfriando o calentando sin importar dónde se encuentre el programa.

Como se explicará más adelante, a partir de estas entradas que realiza el usuario, se generará una señal sinusoidal respecto al instante del día y el día del año, generando una temperatura lo más similar a como ocurren los procesos y ciclos de temperatura en la naturaleza. Por lo que en todo momento tendremos una temperatura necesaria que es la idónea para ese instante concreto del año y del día.

La función SistemaPeltier lo que hará es comparar esa temperatura necesaria con los valores actuales registrados por la Sonda 1, y en consecuencia, actuar apagando el módulo termoeléctrico o poniéndolo a enfriar o a calentar, según la lógica descrita en la función.

Como ya se explicó con anterioridad, en el capítulo 6, la señal PWM_Peltier, en función de la desviación entre la temperatura necesaria (TNecesaria) y la temperatura actual (TActual), esta señal hará trabajar a más o menos potencia la célula.

Al contrario que para el resto de los automatismos que controlan los dispositivos de actuación, en este caso no se permite el accionamiento manual de la célula Peltier por motivos de seguridad y fiabilidad del equipo.

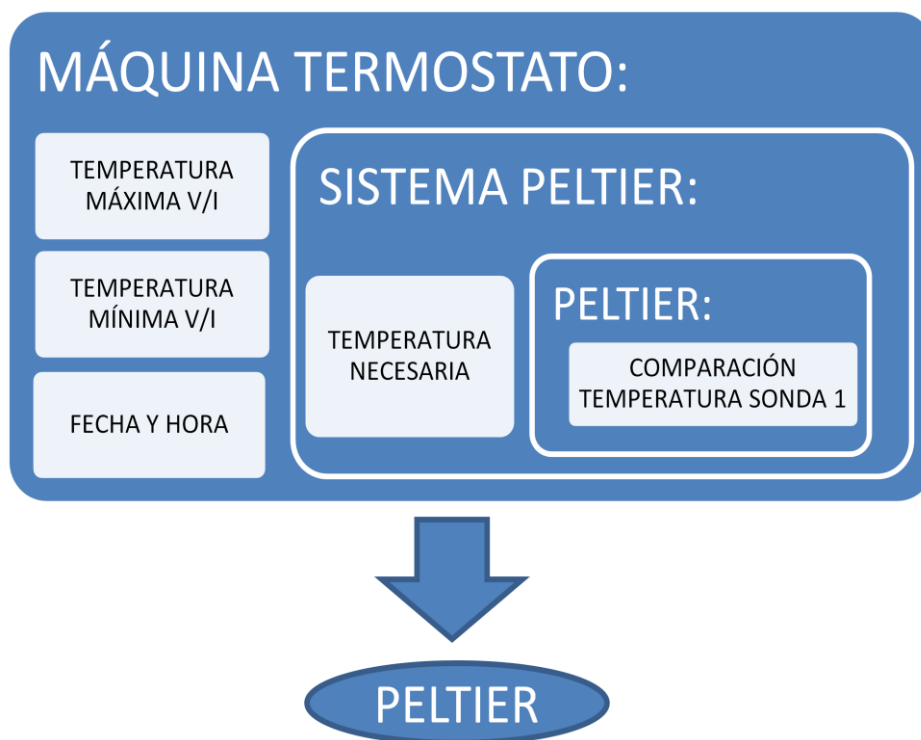


Ilustración 69 Máquina automática control de célula Peltier

7.3.3. Sistema de iluminación

La máquina automática que controla la iluminación, activa y apaga la salida PWM_Led, realizando un ciclo de aproximadamente media hora hasta que la iluminación es total o nula. Tras haberse simulado el amanecer y previamente a simularse el anochecer, se encenderá y apagará la bombilla de UV respectivamente, de forma que no enturbie el efecto deseado.

Este automatismo se organiza a partir de la fecha, hora y gmt de la localidad del usuario y de la latitud que se pretenda simular en la urna. Tras unos cálculos que se harán en la función CalendarioSolar y Amanecer, que posteriormente se explicarán, el sistema de luz inicia la simulación con la bombilla LED en momento determinado y se hará la simulación del atardecer en otro momento determinado, cada día en una hora diferente tal y como ocurre en la naturaleza.

Una vez dentro del SistemaLuz se hará la comparación de horas y entonces la función mandará la señal al actuador que habilita el dispositivo de actuación. Como se ha dicho, se hará la simulación de la localidad que se pretenda, pero todos los ciclos (iluminación, temperatura, humedad,...) estarán siempre adaptados al horario y fecha del usuario de la urna. Esto quiere decir que, por ejemplo, si la localidad a simular es Australia, nuestros ciclos no estarán cambiados de estación ni la noche será el día respecto a los del usuario.

En este caso, sí que se permite la activación manual simultánea de la bombilla LED y de la bombilla UV desde el menú del display anteriormente descrito. Una vez que se acciona, correrá un timer que echará una cuenta de 5 minutos, y cuando esta alcance el valor, la interrupción saltará y el equipo de iluminación se apagará. En este caso, se trata de no perturbar el hábitat que se recrea y evitar consumos innecesarios.

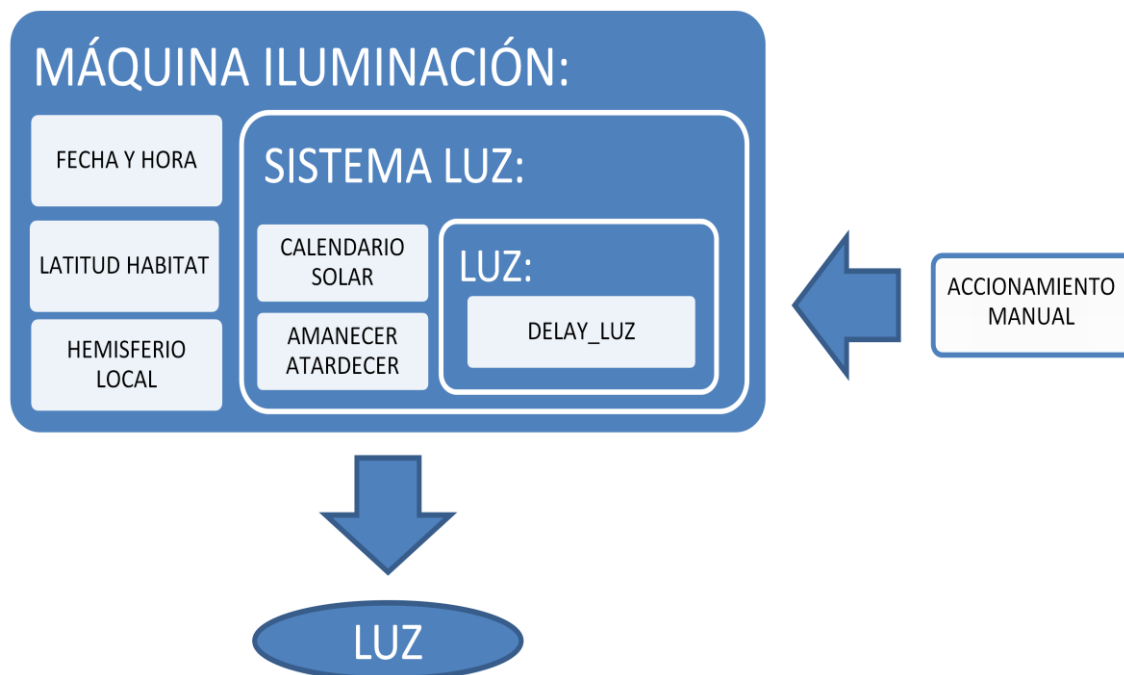


Ilustración 70 Máquina automática control de iluminación

7.3.4. Sistema de lluvia

El sistema de lluvia está controlado por una máquina automática similar a un higrostatato pero avanzado. Activa la señal que va al actuador que controla la bomba conforme a unos valores de humedad introducidos por el usuario en el display.

El automatismo tiene las entradas de la Fecha/Hora, y humedades máximas y mínimas en verano e invierno. Al igual que el sistema Peltier, se genera una función paralela llamada Humedad que indica al SistemaLluvia cuál es la humedad idónea en cada preciso instante de cada día del año.

El SistemaLluvia compara la humedad necesaria que le genera la mencionada función Humedad y la compara con las mediciones de humedad tomadas por la Sonda 2. En caso de que la humedad necesaria sea superior a la que se detecta en el interior de la urna, se pone a funcionar el dispositivo de actuación bomba.

Como en el caso de la iluminación, se permite la activación manual de la bomba desde el menú del display. Una vez que se acciona, correrá un temporizador durante 20 segundos y cuando se alcance dicho valor, la bomba se apagará. Esta medida es por seguridad del equipo y de la bomba que no debe estar demasiado tiempo seguido funcionando y por evitar posibles inundaciones en caso de permanecer la bomba siempre encendida.

Igualmente, existe otra funcionalidad que es un temporizador con diferentes programas y que permitirá encender el sistema de lluvia en un momento puntual y apagarlo en otro momento cualquiera que se desee. Cabe la posibilidad de introducir hasta cuatro activaciones y desactivaciones diferentes.

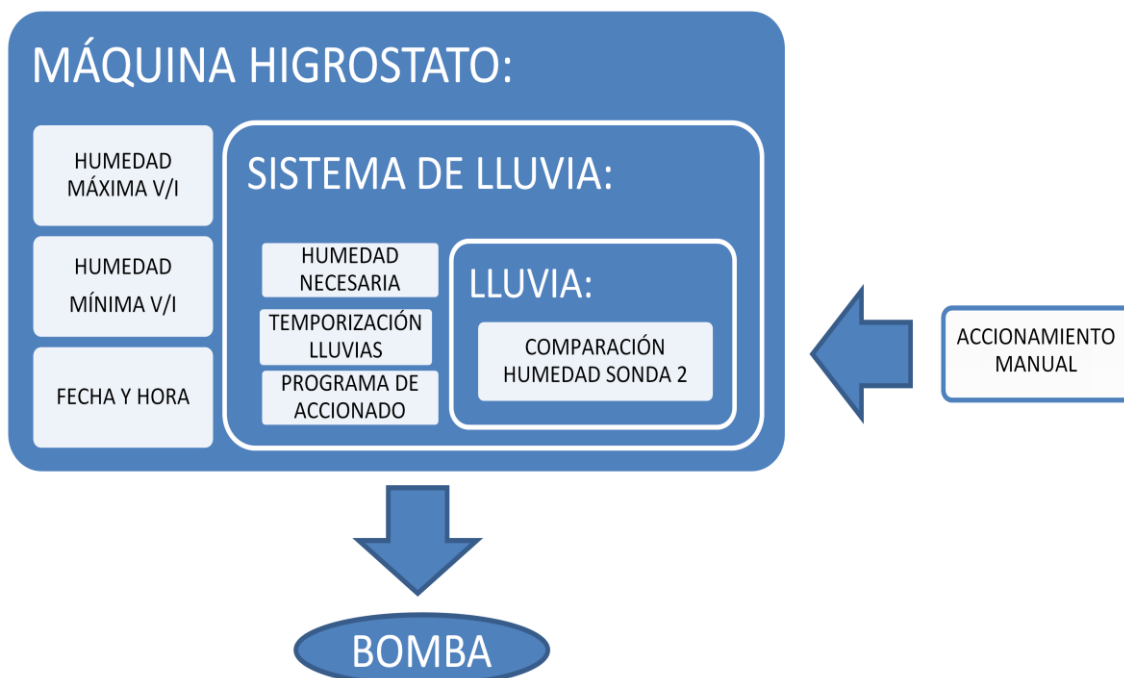


Ilustración 71 Máquina automática control de lluvia

7.3.5. Sistema de renovación

Por último se encuentra el sistema de renovación, que es también una máquina automática encargada de simular un extractor. Este caso es muy similar al sistema de lluvia con la diferencia de que no se permite la funcionalidad de tener unos programas predefinidos controlados por un temporizador.

En cuanto al resto es igual, mismas entradas y funciones de apoyo que activan la señal PWM_Renovac anteriormente estudiada. La única diferencia es que la lógica es inversa, puesto que en este caso si la humedad necesaria dictada por la función Humedad, es superior a las mediciones de humedad tomadas por la Sonda 2, el dispositivo de actuación, el ventilador extractor, no funcionara. Y en el caso contrario sí que funcionará.

La activación manual del ventilador está permitida, controlada por un temporizador de duración de 2 min. Esta limitación atiende a motivos de no perturbar el clima estabilizado.

Cabe mencionar que todas las máquinas automáticas que acaban de ser descritas, poseen una tolerancia determinada a cierta desviación de la variable que tratan, para mantener los aparatos regulados y no encendiéndose y apagándose de forma constante, lo cual generaría un severo desgaste.

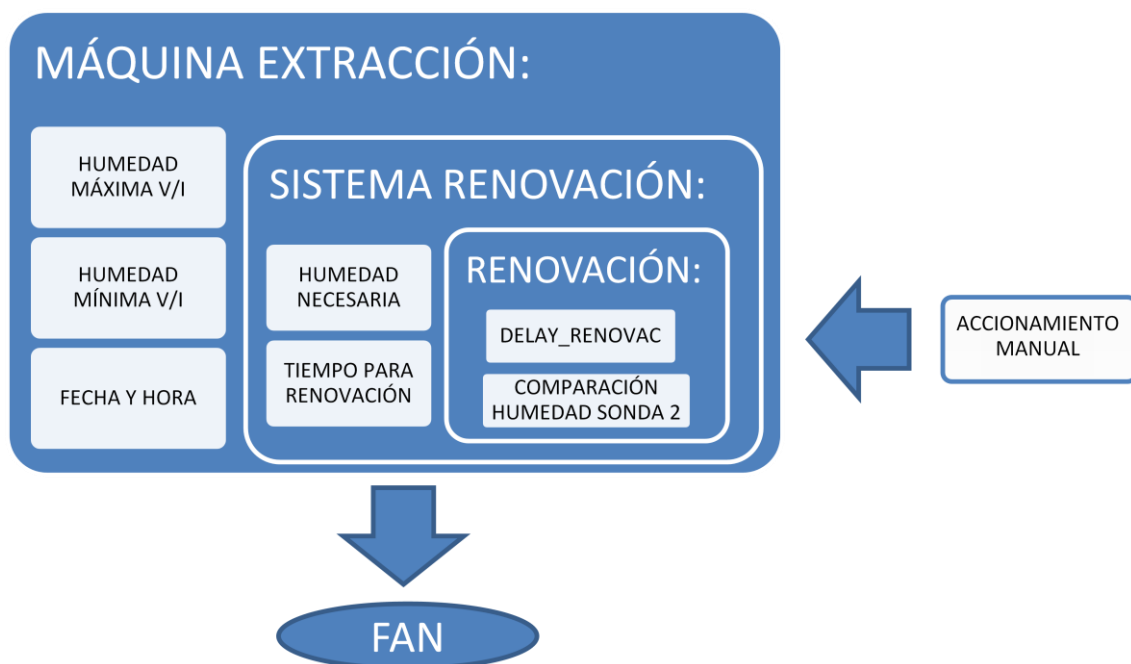


Ilustración 72 Máquina automática control de renovación

7.4. FUNCIONES SOPORTE DE MÁQUINAS DE ESTADO

Como se iba comentando en el apartado anterior 7.3., las máquinas automáticas precisan de unas funciones de soporte para hacer comparaciones y tomar decisiones. A continuación, se destacan las principales y más interesantes funciones.

7.4.1. *Calendario solar*

Se implementa una función llamada CalendarioSolar que calcula la duración de un día en cualquier año y se lo devuelve al programa para que el resto de funciones puedan hacer uso de este dato y actúen conforme a la lógica que las describa. A continuación se presentan los principios físicos en los que está basada.

○ Duración del día, declinación y ángulo horario

La duración del día viene definida entre la salida y la puesta del Sol, y se puede calcular a partir del ángulo horario w :

$$N = \frac{w}{7,5}$$

El ángulo horario w se ha definido a partir de la latitud Φ y la declinación δ . La declinación solar es el ángulo formado entre la línea Tierra-Sol y el plano ecuatorial celeste. El valor de la declinación solar varía a lo largo del año, de $+23,45^\circ$ (21 de Junio), a $-23,45^\circ$ (21 de Diciembre), pasando por cero en los equinoccios de primavera y de otoño:

$$w = \cos^{-1} \left[\frac{-\sin \delta \cdot \sin \Phi}{\cos \Phi \cdot \cos \delta} \right]$$

La ecuación del tiempo queda representada en la segunda imagen de la próxima ilustración, tiene esa forma debido a la oblicuidad (cruces), ángulo formado entre el plano del Ecuador y el de la órbita de la Tierra alrededor del Sol, y al movimiento desigual (cuadrados), que representa el distanciamiento de la órbita elíptica que da la Tierra alrededor del Sol:

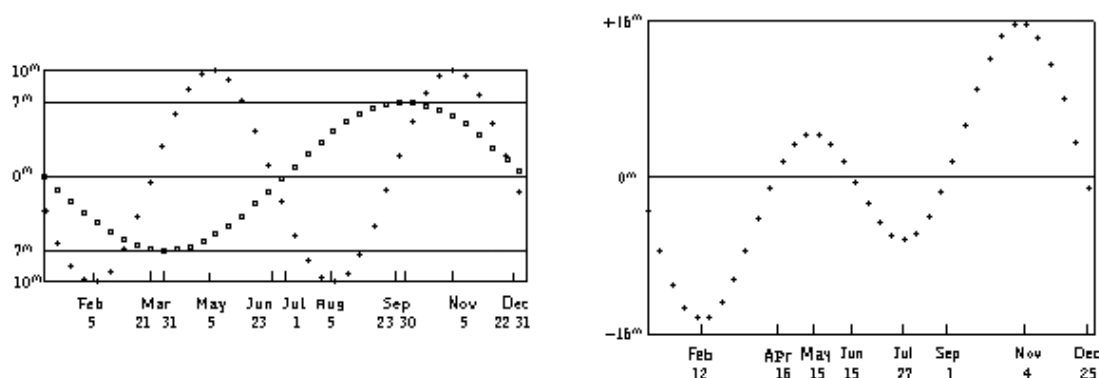


Ilustración 73 Ecuación del Tiempo

- **Salida y puesta de sol aparentes**

Pero si se desea ser más preciso, se debe tener en consideración la posición del Sol con respecto al horizonte (α , elevación del Sol con respecto al horizonte a la salida del Sol). La introducción de este valor modifica la ecuación anterior, adoptando la expresión:

$$w = \cos^{-1} \left[\frac{\sin \alpha - \sin \delta \cdot \sin \phi}{\cos \phi \cdot \cos \delta} \right]$$

El valor de la elevación del Sol, α , con respecto al horizonte será $\alpha = -0,833^\circ$

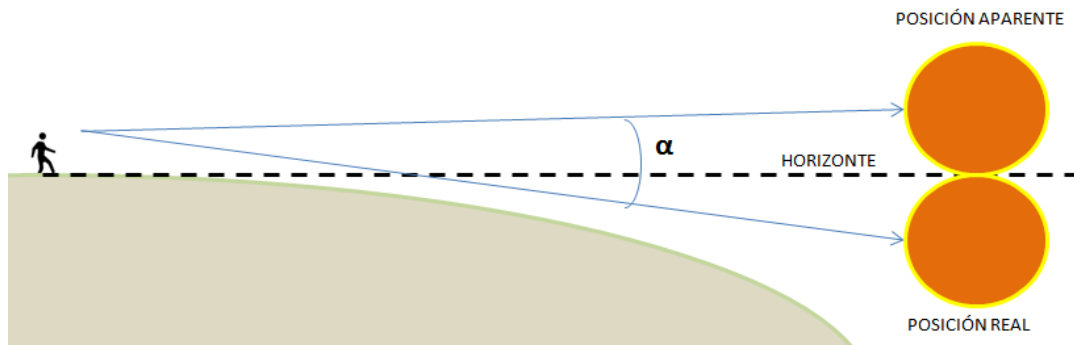


Ilustración 74 Salida y puesta de Sol aparente y real

A continuación, se verá el fragmento de programa que realiza este cálculo:

```
uint32_t CalendarioSolar(float64_t TRRDelta){ TRRDelta=TRRLatitud(8bits)

float64_t a,w,TRRHorizonte=-0.833,TRRDeclinacion;

TRRDeclinacion= 23.45 * seno((360 * (Date + 284) / 365)*10);

// Ángulo horario debido a la latitud, declinación y al ángulo entre
horizonte y sol
a = (seno(TRRHorizonte*10 + 3600) - seno(TRRDeclinacion*10) *
seno(TRRDelta*10))/ (coseno(TRRDelta*10) * coseno(TRRDeclinacion*10));

w= arc_coseno(a); // paso a grados

// Duración del día en segundos
N_seg = w / 7.5 * 3600;
return(N_seg);
}
```

7.4.2. Amanecer y anochecer solar

Otra de las funciones de soporte de las máquinas automáticas, llamada Amanecer. En este caso se trata de conocer en qué momento exacto del día se produce el amanecer y el atardecer, cada día del año. A continuación la deducción de ello.

- **Hora solar y GMT**

Si se conoce el número de horas de sol máximas N , para calcular las horas de salida y puesta del Sol referidas a la hora solar, simplemente habrá que considerar que como el valor central es el mediodía (a las doce hora solar, cuando el Sol se encuentra en su posición más elevada) la hora solar de la salida (orto) y de la puesta del Sol (ocaso), será el resultado de restar y sumar la mitad del número de horas de sol máximas al valor del mediodía:

- ORTO: $12 - \frac{N}{2}$
- OCASO: $12 + \frac{N}{2}$

Las horas anteriores hacen referencia a la hora solar, por lo que habrá que tener en cuenta la desviación GMT con la hora dada.

```
uint16_t Amanecer(uint32_t dur){
    uint16_t AmanecerInvierno, AmanecerVerano;

    if(Date<=89 || Date>=300){        // PROVISIONAL(cambio de hora)
        AmanecerInvierno = 13*3600 - dur/2;    // respecto a RTC GMT+1
        RTC_Hora_dia(&SystemHora, AmanecerInvierno);
        return(AmanecerInvierno);
    }
    else{
        AmanecerVerano = 13*3600 - dur/2 + 3600; //respecto a RTC GMT+1
        RTC_Hora_dia(&SystemHora, AmanecerVerano);
        return(AmanecerVerano);
    }
}
```

Para conocer dónde está el ocaso y se produce el atardecer, al valor AmanecerVerano o AmanecerInvierno se le suma la duración del día N , en esta función llamada `dur` y representada en segundos. Estas operaciones se encuentran desarrolladas en la máquina automática de SistemaLuz.

7.4.3. *Temperatura*

Se crea una función de nombre *Temperatura*, la cual sirve para establecer la temperatura necesaria en cada momento del día y del año. La máquina de secuencial de alarmas y la máquina automática SistemaPeltier, harán uso de ella para obtener la temperatura necesaria en cada instante y actuar en consecuencia. Obtiene información de la fecha y hora que se encuentra en cada instante y de los valores de temperatura máximos y mínimos del verano e invierno que el usuario introduce por teclado.

La simulación es una aproximación de los ciclos de temperatura anuales y diarios con señales sinusoidales, de modo que la temperatura va variando estacional y diariamente. Se entiende el seno($\pi/2=90^\circ$) como el pleno verano y el seno ($3\pi/2=270^\circ$) como pleno invierno. Y sobre estos puntos en el tiempo es donde se sitúan las cuatro variables máximas y mínimas que se solicitan al usuario, y sus incrementos, permitiendo modelizar la temperatura como se verá a continuación:

- Tª máxima verano: $TMAX_V$
- Tª mínima verano: $TMIN_V$
- Incremento tª verano: $\Delta T_V = TMAX_V - TMIN_V$
- Tª máxima invierno: $TMAX_I$
- Tª mínima invierno: $TMIN_I$
- Incremento tª invierno: $\Delta T_I = TMAX_I - TMIN_I$

Cabe destacar que en el ejemplo de la *Ilustración 75* los incrementos mostrados son iguales, pero que el programa tiene la capacidad de trabajar con incrementos de distinto valor, de forma que exista, por ejemplo, mayor fluctuación de temperaturas en el verano que en el invierno.

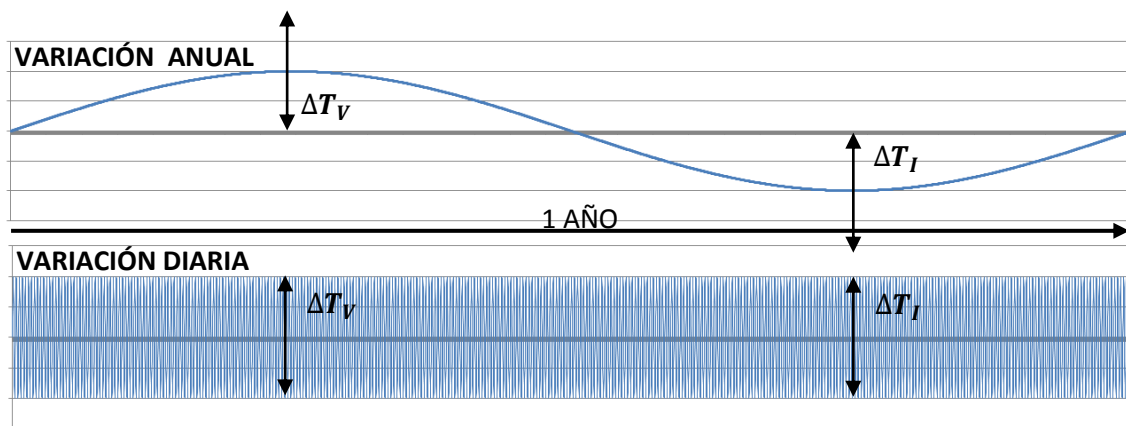


Ilustración 75 Oscilación temperatura anual y temperatura diaria (los 365 días del año)

Por tanto, lo único que deberemos hacer es sumar estas dos funciones para obtener la temperatura resultante que hemos denominado $T_{Necesaria}$, una temperatura con oscilaciones a diario y anualmente, lo cual implica que en un preciso instante no se obtenga la misma temperatura que de poco tiempo después, ni que la temperatura de un instante sea la misma en el mismo instante del día siguiente.

Una aproximación al resultado final se puede observar en la *Ilustración 76*:

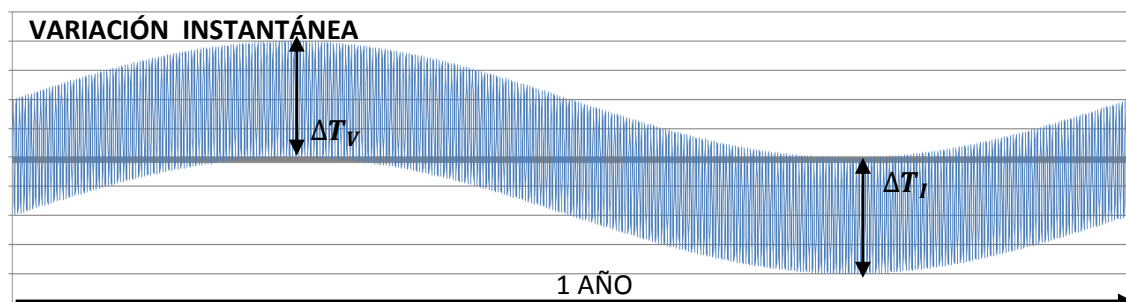


Ilustración 76 Ejemplo oscilación temperatura instantánea (los 365 días del año)

En este momento se conocen las amplitudes de las dos señales seno gracias a los valores máximos y mínimos y se conocen los periodos, cada día y cada año. Pero aún debemos señalar la desviación de la función seno respecto nuestro origen de toma de datos.

En consecuencia, el año comienza el 01 de Enero, la fecha con la temperatura TMAX_I y TMIN_I de menor valor, y esto representa una desviación de $+270^\circ$ respecto al seno($\alpha=0$). Por otra parte, el día comienza a las 00:00, instante medio entre el paso de la TMAX a la TMIN del día, por lo que sufre una desviación de 180° respecto al seno($\alpha=0$). En la siguiente *Ilustración 77* podremos observar este fenómeno:

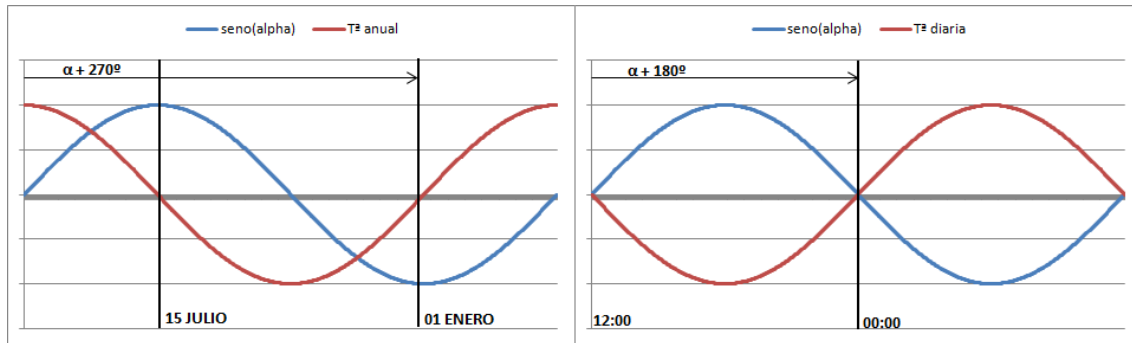


Ilustración 77 Desviaciones temperatura respecto al seno

Por último, se verá la lógica desarrollada para la función Temperatura:

```
float64_t Temperatura(TemperaturaType* T){
    uint32_t segundos;
    float32_t amplitud_dia, amplitud_min, amplitud_max;
    float64_t instante_dia, momento_est, temperatura, TMin, TMax;

    // CÁLCULO ESTACIONAL
    amplitud_min= (float32_t) (T->TMin_V - T->TMin_I) / 2;
    amplitud_max= (float32_t) (T->TMax_V - T->TMax_I) / 2;
    momento_est= 360 * Date / 365;

    TMin= (amplitud_min * seno(momento_est*10 + 2700)) + amplitud_min + T->TMin_I;
    TMax= (amplitud_max * seno(momento_est*10 + 2700)) + amplitud_max + T->TMax_I;

    // CÁLCULO DIARIO
    segundos=(uint32_t)Date;
    amplitud_dia = (TMax - TMin) / 2;
    instante_dia = 360 * segundos / 86400; // 24h=86400s

    temperatura = (amplitud_dia * seno(instante_dia*10 + 1800)) +
    amplitud_dia + TMin;

    return(temperatura);
}
```

7.4.4. Humedad

Se establece una humedad necesaria en cada instante del día y del año, a través de la función Humedad. Serán la máquina de secuencial de alarmas y la máquina automática SistemaLluvia las que llamarán esta función, para obtener la información en cada momento de la humedad del ambiente y tomar las decisiones en consecuencia. La función Humedad

obtiene información de la fecha/hora, en cada instante, y de los valores de humedad máximos y mínimos del verano e invierno que un usuario introduce por teclado.

Al igual que la función anterior, la simulación es una aproximación de los ciclos de humedad anuales y diarios a señales sinusoidales, de modo que la humedad va variando estacional y diariamente. La lógica y matemática de este caso es muy similar al anterior, se sigue entendiendo el seno($\pi/2=90^\circ$) como pleno verano, época con más lluvias (y por tanto humedad) y el seno ($3\pi/2=270^\circ$) como pleno invierno y época de menos lluvias. El sistema se definirá a través de cuatro variables máximas y mínimas que introduce el usuario por teclado y por los incrementos que representan en cada uno de los momentos del año.

- H% máxima verano: $HMAX_V$
- H% mínima verano: $HMIN_V$
- Incremento h% verano: $\Delta H_V = HMAX_V - HMIN_V$
- H% máxima invierno: $HMAX_I$
- H% mínima invierno: $HMIN_I$
- Incremento h% invierno: $\Delta H_I = HMAX_I - HMIN_I$

La señal final durante un año será como la representada en la *Ilustración 78*, con la diferencia de que en este ejemplo, los incrementos de humedad son iguales y podrían ser de amplitudes diferentes.

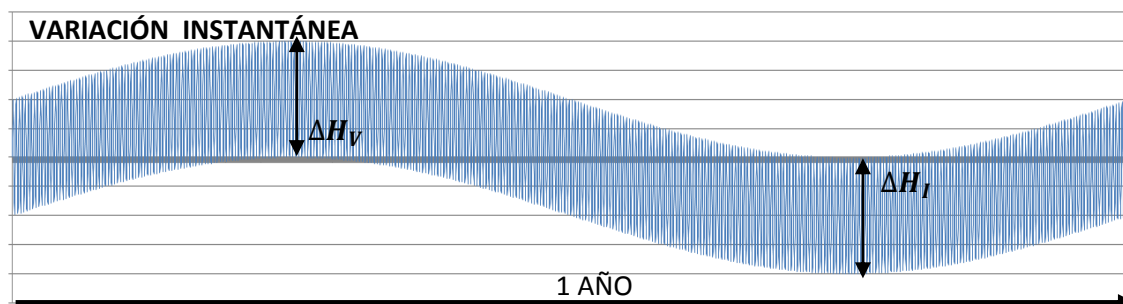


Ilustración 78 Ejemplo oscilación humedad instantánea (los 365 días del año)

Una vez que se conocen los incrementos de humedad y sus máximos y mínimos se verifican las amplitudes de la señal sinusoidal. También se conoce la frecuencia o periodo de las dos señales seno, pero aún se ignoran las desviaciones de las funciones seno respecto nuestro origen de toma de datos.

Como la lógica aplicada en el caso de la temperatura, año comienza el 01 de Enero, la fecha con la humedad $HMAX_I$ y $HMIN_I$ de menor valor de todo el año y esto representa una desviación de $+270^\circ$ respecto al seno($\alpha=0$). Por otra parte, el día comienza a las 00:00, instante medio entre el paso de la $HMIN$ a la $HMAX$, por lo que en este caso no existe ninguna desviación frente al seno($\alpha=0$). En la siguiente *Ilustración 79* podremos observar este fenómeno:

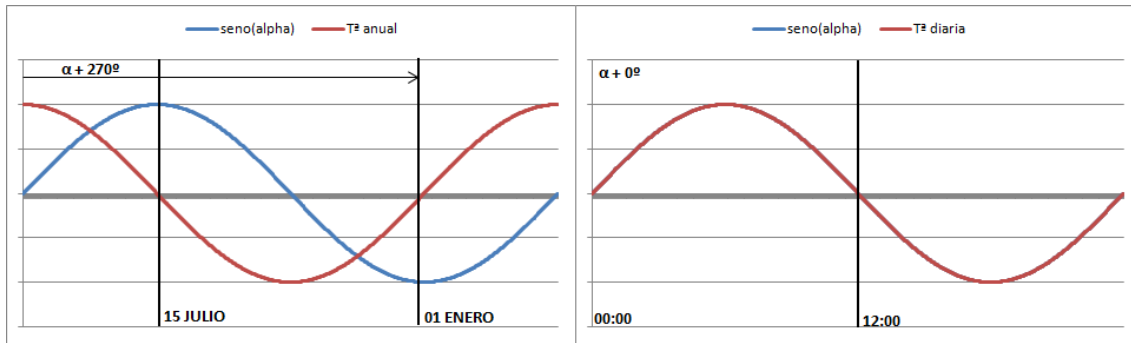


Ilustración 79 Desviaciones temperatura respecto al seno

Por último, se verá la lógica desarrollada para la función Humedad:

```
float64_t Humedad(HumedadType* H){

    uint32_t segundos;
    float32_t amplitud_dia, amplitud_min, amplitud_max;
    float64_t instante_dia, momento_est, humedad, HMax, HMin;

    // CÁLCULO ESTACIONAL
    amplitud_min= (float32_t) (H->HMin_V - H->HMin_I) / 2;
    amplitud_max= (float32_t) (H->HMax_V - H->HMax_I) / 2;
    momento_est= 360 * Date / 365;
    HMin= (amplitud_min * seno(momento_est*10 + 2700)) + amplitud_min + H->HMin_I;
    HMax= (amplitud_max * seno(momento_est*10 + 2700)) + amplitud_max + H->HMax_I;

    // CÁLCULO DIARIO
    segundos=(uint32_t)Date;
    amplitud_dia = (HMax - HMin) / 2;
    instante_dia = 360 * segundos / 86400; // 24h=86400s
    humedad = (amplitud_dia * seno(instante_dia*10)) + amplitud_dia +
    HMin;

    return(humedad);
}
```


7.5. OTRAS FUNCIONES DE SOPORTE

En este apartado se verán distintas funciones de lectura, escritura y grabación de datos y funciones matemáticas de cálculo. No es que el programa Atollic y este microprocesador no tengan capacidad de generar o librerías de estas funciones, sino que la versión de Atollic empleada es gratuita y está limitada hasta 32kb de programa, lo cual era insuficiente para el proyecto en trámite. Por este motivo, compensaba guardar en la memoria cualquier dato y generar funciones propias de menor peso.

7.5.1. Escritura y lectura de datos

Para no hacer uso de la función printf, se generaron distintas funciones de escritura de cadenas y datos por pantalla. Además, puesto que el display es gráfico y tiene un código propio, resultó interesante esta adaptación.

○ Escritura USART en display gráfico

Se desarrolla una función básica Write en la que el resto se apoyan, encargada de hacer escrituras de caracteres.

```
void Write(uint8_t dato){
    USART_SendData(USART1,dato);    // Envío cadena de caracteres
    while (USART_GetFlagStatus(USART1, USART_FLAG_TXE) == RESET); // Hasta
    // retorno de carro o registro lleno
}
```

Y posteriormente se desarrollan el resto de funciones:

- Funciones para imprimir dos o tres caracteres por pantalla de mediciones tomadas por los sensores por ejemplo, o de valores guardados en memoria: **void PrintNum_2C(uint8_t dato);** y **void PrintNum_3C(uint8_t dato);**
- Una función para hacer lecturas de cadenas desde memoria: **void Prints(uint8_t index);**
- Una función para transmitir cadenas de caracteres cerrando el mensaje: **void PrintString (uint8_t *buf);**
- Y una función para transmitir una cadena de caracteres pero sin cerrar el mensaje: **void PrintMessage(uint8_t *ptr, uint8_t len);**

Con todas estas funciones ya se cubre el abanico de mensajes que se quieran enviar, a través de una comunicación USART, al display gráfico.

○ Lectura USART del joystick o teclado

Se trata únicamente de una función de lectura de datos introducidos por teclado o por un joystick, es capaz de leer cualquier posición del joystick y una cifra de dos dígitos enviada por teclado.

```
uint8_t USART_Scanf(uint8_t value){
    uint8_t index = 0;
```

```

    uint32_t tmp[2] = {0, 0};

    while (index < 2){
/* Loop until RXNE = 1 */
        while(USART_GetFlagStatus(USART1, USART_FLAG_RXNE) == RESET){}
        tmp[index] = (USART_ReceiveData(USART1));
//    tmp[index] = getchar();
        if ((tmp[index] > 0x2F) && (tmp[index] <= 0x39)) {
            USART_SendData(USART1,tmp[index++]);
        }
    }
/* Calculate the Corresponding value */
    index = (uint8_t)((tmp[1] - 0x30) + ((tmp[0] - 0x30) * 10));
/* Checks */
    if (index > value){
        //printf("\n\r Ha de ser menor que %d", (int)value);//S041
        return 0xFF;
    }
    return index;
}

```

7.5.2. Manejos de tiempo

Dos funciones que harán de soporte para la posible lectura y transmisión de datos recibidos a través de los sensores (Timer4), aparte de otras cuentas de tiempos bajos como el SysTick.

```

/*****
 *
 * Delay microsegundos usando el Timer 4
 *
 *****/
void Delay_us(uint16_t Delay){

    TIM_SetCounter(TIM4,0x0);
    GPIO_SetBits(GPIOC,LedPAzul);
    TIM4->CCR1=Delay;
    TIM_ClearFlag (TIM4, TIM_FLAG_Update);
    while(TIM_GetFlagStatus(TIM4, TIM_FLAG_Update) != SET);
    GPIO_ResetBits(GPIOC,LedPAzul);
}

/*****
 *
 * Delay milisegundos usando el SysTick
 *
 *****/
void Delay_ms(uint16_t ms){

    SysTick->VAL = 0;
//    SysTick_SetReload(0xFFFF);
    SysTickTimer=ms;
//    GPIO_SetBits(GPIOC,SigAux2);
    while(SysTickTimer!=0);
//    GPIO_ResetBits(GPIOC,SigAux2);
}

```

7.5.3. Funciones matemáticas

Se implementan distintas funciones matemáticas para permitir los cálculos antes presentados para las funciones CalendarioSolar, Amanecer, Temperatura y Humedad.

Entre otras, destacamos las funciones trigonométricas seno, coseno y arco coseno y una función de elevación de potencia:

```

/*****
*
* Funciones matemáticas generadas
*
*****/

float32_t seno(uint16_t DecGrado){
    uint16_t Index=0, cuadrante, resultado;
    float32_t result_sen;

    while(DecGrado > 3600) DecGrado-=3600; // Restamos vueltas completas
                                         de 360º
    cuadrante=DecGrado/900; // 0, 1, 2 o 3
    if(DecGrado>900) DecGrado%=900; // 0,0º hasta 90,0º

    if(cuadrante==1 || cuadrante==3)
        Index = DirSeno + 1800 - (DecGrado*2);
    else
        Index = DirSeno + (DecGrado*2);

    // Puntero a caracter con direccion: result_sen
    I2C_Master_BufferRead(I2C2, (uint8_t*)&resultado,
        I2C2_MEM_ADD,Index,2);

    if((Index==7944) || (DecGrado==900)) resultado=0xFFFF; // Tabla de
    0,0º a 89,9º. 90,0º o 270,0º da error, por ello esta sentencia

    result_sen=(float32_t)resultado;
    result_sen = result_sen/(0xFFFF);

    if(cuadrante==2 || cuadrante==3) result_sen = -result_sen;

    return result_sen;
}

float32_t coseno(uint16_t DecGrado){
    float32_t result_cos;
    result_cos=seno(DecGrado+900);
    return result_cos;
}

float32_t arc_coseno(float32_t Ratio){
    float32_t result_acos;
    result_acos = (M_PI/2) - (Ratio + (potencia(Ratio,3)/6) +
    (3*potencia(Ratio,5)/40) + (15*potencia(Ratio,7)/336)
    + (105*potencia(Ratio,9)/3456) + (945*potencia(Ratio,11)/42240) +
    (10395*potencia(Ratio,13)/599040)+ (135135*potencia(Ratio,15)/9676800)

```

```
+ (2027025*potencia(Ratio,17)/175472640) +  
((34459425/3530096640)*potencia(Ratio,19))); // Error < +-0.1º  
result_acos *= 360/(2*M_PI);  
return result_acos; //resultado en grados  
}  
  
float32_t potencia(float32_t a,int16_t b){  
    if (b<=0)  
        return 1;  
    else  
        return a*potencia(a,b-1);  
}
```

Y con estas funciones soporte, se concluye el capítulo de software, y toda la parte de desarrollo del equipo de control. A continuación, tras haber finalizado la explicación del proyecto, nos centraremos en las conclusiones y en las posibles líneas de futuro de este.

8. RESULTADOS FINALES DEL PROYECTO

Se inicia la última parte del proyecto de resultados finales comenzando por los experimentos térmicos y eléctricos del sistema Peltier, posteriormente pruebas de control y por último los resultados del equipo de simulación de amanecer y atardeceres.

Para el equipo térmico, todas las pruebas se harán en una habitación con condiciones estables de temperatura, es decir, no será determinante la convección del ambiente, y las temperaturas ambientales en ningún caso serán extremas. Las pruebas se realizarán en la urna fabricada para tal propósito, el terrario *Prototipo 1* (36 litros), y se efectuará la comparación con la nevera (50 litros) que se utilizaba en experimentos mostrados en capítulos anteriores.

También se analizarán los resultados del control, comprobando la paridad y los efectos físicos entre las variables de control y los resultados experimentales. Ello hará posible la modelización de la señal identificando las inercias del sistema. Este apartado podría resultar como un prolegómeno de otro proyecto en el que se profundizase en la regulación de señales.

8.1. RESULTADOS DEL EQUIPO TÉRMICO Y DE CONTROL

8.1.1. Funcionamiento en régimen máximo de trabajo

Se comprueban la eficacia del sistema térmico y su rango de funcionamiento eléctrico para ciclos de trabajo máximo en las condiciones estables de un ambiente de casa con una temperatura de 27°C. Se registran los valores de temperatura de los dos sensores programados, DS18B20 y DHT11, con una frecuencia de 30 segundos hasta un tiempo total de 36 minutos.

En la *Ilustración 80* representada a continuación, se verán los resultados obtenidos en las condiciones planteadas anteriormente:

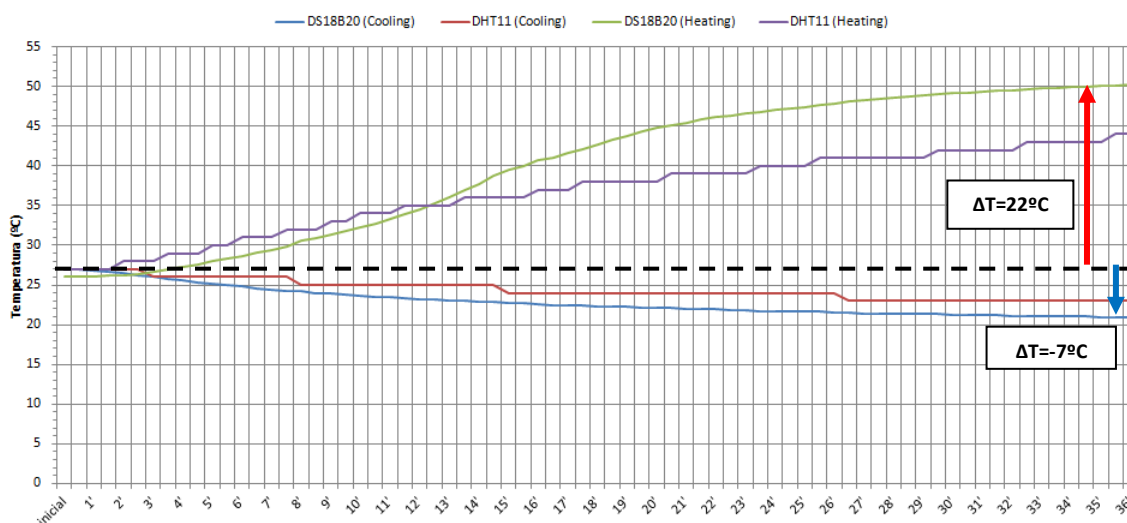


Ilustración 80 Comparativa Cooling-Heating TERRARIO Dmax

Y a continuación volveremos a mostrar los resultados que se obtuvieron para la nevera en estas condiciones:

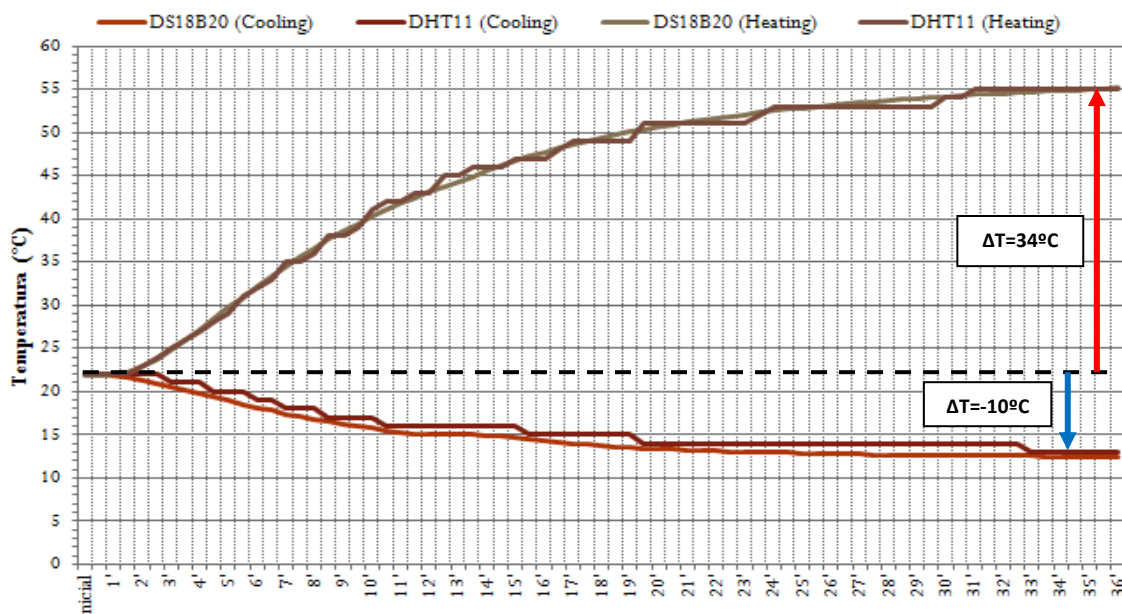


Ilustración 81 Comparativa Cooling-Heating NEVERA Dmax

Como se puede observar, el rendimiento es claramente superior en el caso de la nevera, pese a tener un mayor volumen, puesto que el aislamiento por todas las caras de la caja es mucho mayor que en el caso del terrario. En la nevera se disminuyó el ambiente unos -10°C , frente a los -7°C del terrario, y se aumentó en 34°C la temperatura ambiental, frente a los 22°C del *Prototipo 1*.

En este nuevo ensayo, y en este caso, al igual que en el experimento que se hacía sobre la nevera, se comprueba que la célula tiene mayor capacidad de aumentar el ambiente en vez de disminuirlo.

Otra característica a destacar es la forma de crecimiento de las señales. En el caso de la nevera, podría tratarse de una señal con forma raíz cuadrática, y para el caso del terrario las funciones se aproximan más a una señal lineal. Esto es debido posiblemente al efecto de la inercia térmica sobre el terrario, que amortigua la temperatura y por ello modifica su crecimiento. En el terrario hay menor volumen, pero está relleno con sustratos, plantas, ramas y otros objetos que lo que hacen es darle mayor masa, y por tanto mayor inercia térmica. Este efecto también es visible fijándose en los primeros minutos de funcionamiento de ambas gráficas, mientras que en la nevera según se enchufa el aparato térmico, esto tiene una influencia grande sobre esta, para el caso del terrario pasan hasta 5' para verificar un cambio del mismo orden.

Como conclusión, cabe destacar el error que se produce entre ambos termómetros en el caso del terrario. La sonda de temperatura DS18B20 se dispuso en la zona de abajo, cercana al chorro de calor, mientras que la sonda DHT11 se localizó en una zona de mayor altura alejada de la salida del conducto de calor.

8.1.2. *Funcionamiento en régimen automático regulado*

Una vez comprobados los regímenes de trabajo máximo, se pasa a verificar cómo se realiza la estabilización de la temperatura mediante la señal de ancho de pulso PWM_Peltier y cuáles son las respuestas del sistema de control frente a los cambios ambientales.

Como se comentaba en anteriores apartados, lo que se busca es la estabilización del sistema en temperaturas programadas, lo que conlleva el mínimo consumo eléctrico pues de lo que se trata es que el sistema trabaje lo justo para alcanzar la temperatura necesaria de ese instante concreto.

Comenzamos la comprobación observando que a partir de cuatro temperaturas introducidas, máximos y mínimos de verano e invierno, del clima a representar, y la fecha y hora de donde se encuentre el usuario, los ciclos de temperatura estacionales y diarios se cumplen sincronizados con la fecha y hora introducida por el usuario. De esta forma se satisface la idea de no enfrentar el aparato a climas ambientales más adversos, incurriendo en un mayor consumo eléctrico, a la par que representar, de forma similar a la realidad, el ciclo de temperatura anual del clima programado.

En cuanto al sistema de control que regula la señal PWM_Peltier, se verifica que el sistema responde rápidamente a los cambios de temperatura, aunque liberando la energía de una forma progresiva para limitar el uso de la célula. Las inercias térmicas en el terrario *Prototipo 1* son altas, debido a circuitos para el flujo de calor y masas del sustrato, plantas, ramas, etc., por ello esta regulación retardada y amortiguada que se planteó en el programa.

Mientras se hicieron estas pruebas, se pudo comprobar mediante el osciloscopio que la señal PWM_Peltier (canal 3, azul) respondía adecuadamente, pero que el circuito de potencia que alimentaba la célula Peltier (canal 1, amarillo), sufría un gran retardo. Este retardo implicaba que el módulo termoeléctrico no funcionase para ciclos de trabajo inferiores al 25%, manteniéndose sin alimentación, y que para ciclos de trabajo superiores al 75%, la célula directamente saltase a régimen máximo de trabajo.

Ya que el error se localizaba en la placa de potencia que alimentaba la célula, acabó surgiendo la idea de que el error podía deberse a una cuestión de hardware. Y así fue, pues se comprobó que la frecuencia de trabajo de la señal PWM (350Hz) era demasiado alta para los optoacopladores con los que se trabajaba, y en cuanto se cambió la configuración del Timer3 a una frecuencia menor, de 60Hz, se obtuvo un retardo aproximadamente <5% de la frecuencia completa, lo cual satisfizo los objetivos marcados.

De esta forma, ambas señales quedaron trabajando de la forma en la que se manifiesta en la siguiente *Ilustración 82*:

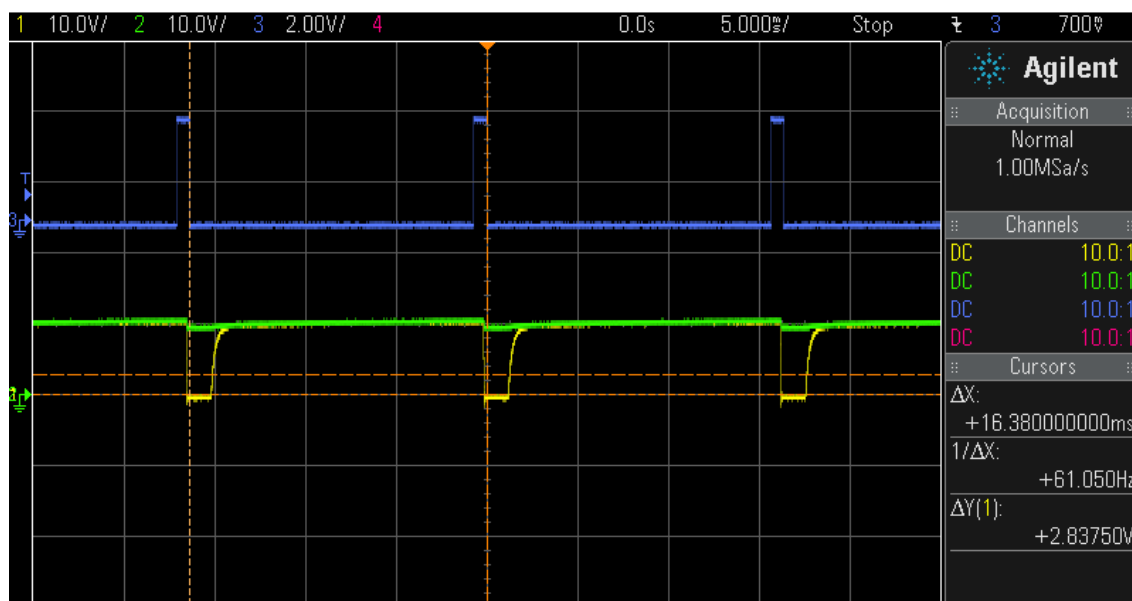


Ilustración 82 Captura pantalla osciloscopio señal PWM_Peltier

Como se puede observar, el retraso no es significativo, puesto que la señal crece con una pendiente muy superior a como lo hacía anteriormente.

De esta forma se da por comprobado el control del aparato térmico montado en el terrario *Prototipo 1*. Es posible que, para el terrario *Prototipo 2* que se está elaborando, haya que modificar ligeramente las variables de control, pues al ser un mayor volumen y tener mayor masa, los efectos de la inercia térmica serán considerablemente distintos.

8.2. RESULTADOS DEL EQUIPO DE ILUMINACIÓN Y DE CONTROL

Se busca comprobar cómo se realiza la simulación de amanecer y atardeceres y si las horas y tiempos en los que se produce, son correctos.

Para ello se configura el dispositivo electrónico con una fecha y horario y con la latitud requerida a simular. Tras esto, se comprueba que la simulación del amanecer y el atardecer corresponde con las horas en las que se debería producir para la latitud introducida, pero con la fecha (ciclo estacional) y la hora (ciclo diario), configuradas por el usuario. Por tanto, se comprueba que es correcto, pues fue lo buscado.

En cuanto al funcionamiento del sistema de iluminación durante el tránsito de estados de –equipo totalmente off – y – equipo totalmente on – el programa se inicia con el equipo LED montado y conectado y mediante la señal PWM2_Iluminación. Se busca que los tiempos de la simulación sean los que exactamente se programaron y probar que la frecuencia del ancho de pulso, de 350Hz, sea imperceptible para el ojo humano, para que de esta manera el amanecer o atardecer, sea progresivo a la vista.

La conexión de la señal PWM se encuentra en el micro definida como open drain y se obliga mediante hardware su puesta a push-pull 5v para que la patilla del driver, dimmer, identifique claramente los cambios de estado y ponga en ON/OFF los LEDs.

Los resultados son todos correctos salvo por una pequeña vibración o parpadeo que se contempla en la luz, sobretodo en ciclos de funcionamiento bajos (<50%). Visualizando la señal PWM (canal 1, amarillo) en el osciloscopio, junto con la masa de los LEDs (canal 2, verde), se observa que cada cierta frecuencia, el osciloscopio detecta ruidos en ambas señales, lo cual indujo a pensar que el error podría deberse a la fuente de alimentación conectada con la red. Al introducir otra señal en el osciloscopio de 50Hz (canal 3, azul), se comprueba que el ruido está sincronizado con esta señal, por lo que se deberá al generador.

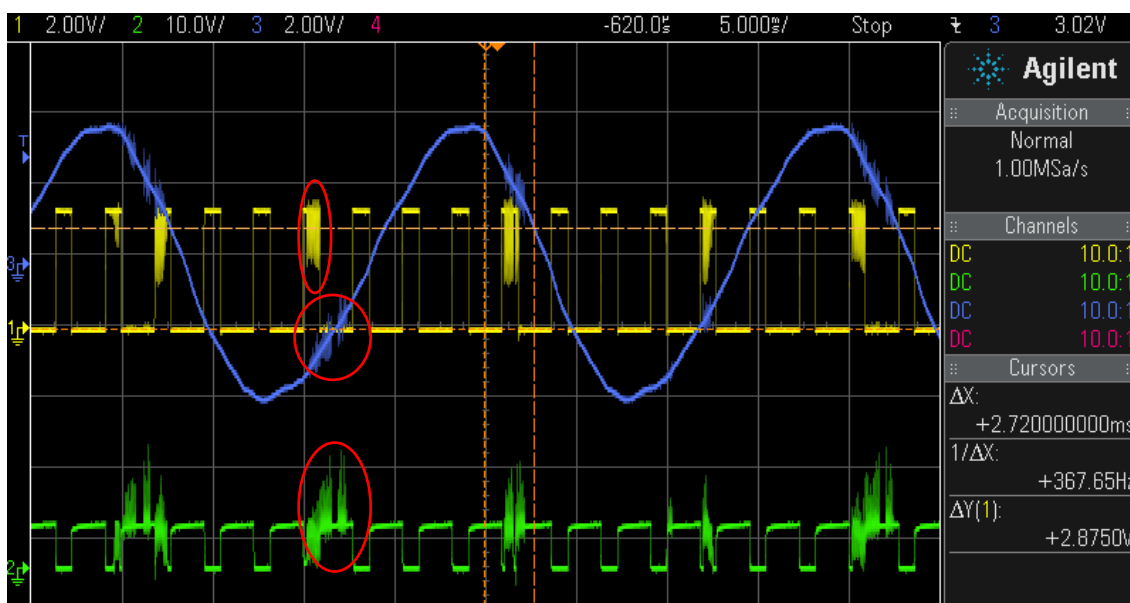


Ilustración 83 Captura pantalla osciloscopio señal PWM2_Iluminacion (1)

Por lo que se decide cambiar de fuente y se alimenta el driver que va a los LEDs con otra fuente de tensión de 24v, quedando comprobado que efectivamente se cumplen las hipótesis imaginadas y que entonces la solución propuesta es correcta. Los ruidos de las señales que se apreciaban en la anterior captura de pantalla, desaparecieron como se puede ver en la siguiente *Ilustración 84*:

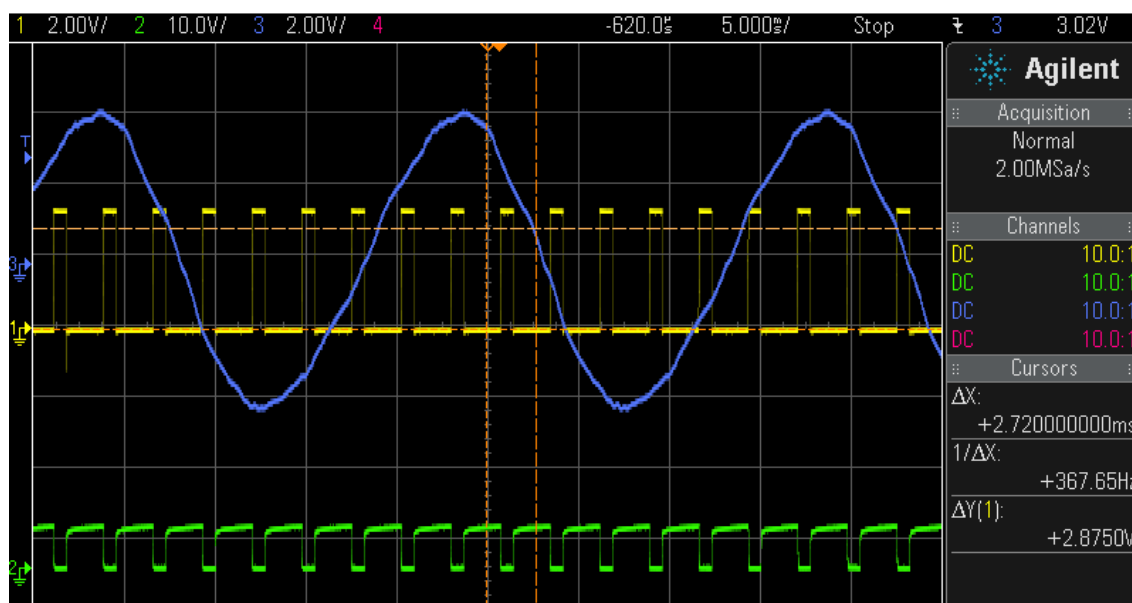


Ilustración 84 Captura pantalla osciloscopio señal PWM2_Iluminacion (2)

Finalmente, la simulación del amanecer y el atardecer fue perfecta, viéndose las señales limpias de ruidos y no apreciándose en las bombillas parpadeos. El efecto obtenido fue la percepción progresiva y continua, sin intermitencias, de los cambio entre el apagado total y el régimen máximo de funcionamiento.

Como conclusión, una gráfica con medidas de luminancia tomadas en el terrario *Prototipo 1*, acompañadas posteriormente de las imágenes que representan este efecto.

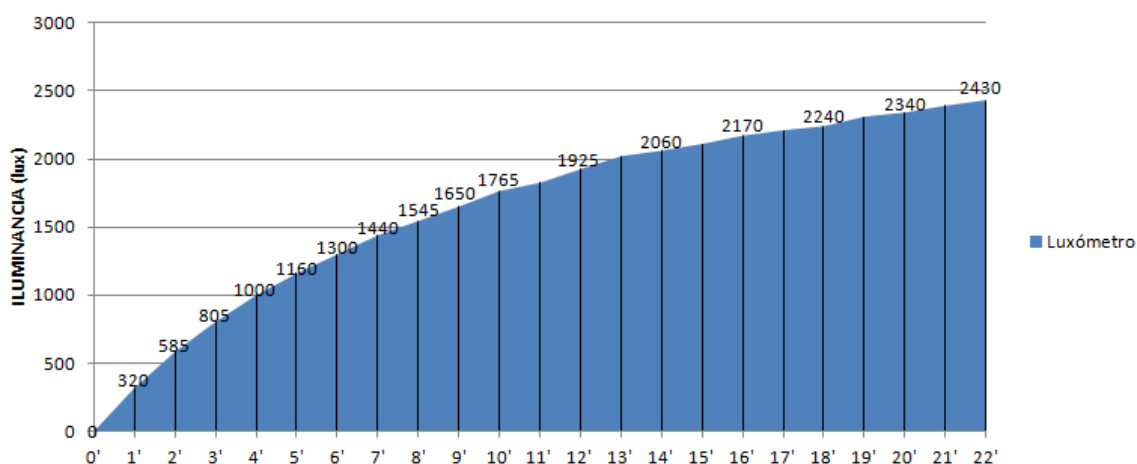


Ilustración 85 Luminancia durante simulación amanecer

Tal y como se ha comentado, el ciclo de trabajo que controla los LEDs aumentaba o disminuía linealmente, por tanto, los lúmenes, medida del flujo luminoso, aumenta de la

misma forma. Pero la iluminancia, o nivel de iluminación, depende de los lúmenes y de la superficie, por tanto, es lógico y sensato que el aumento no sea lineal.

Finalmente, las imágenes que demuestran el efecto en el terrario:



Ilustración 86 Simulación amanecer en Prototipo 1

9. PLANIFICACIÓN Y COSTES

Para la correcta ejecución de este proyecto y la estimación de plazos, recursos y presupuesto, se hace un estudio dónde se estructuran las tareas.

Para poder llevar a cabo un sistema eficiente de gestión de la planificación se dividieron las actividades en bloques de tareas mayores. Estos bloques agregan aquellas tareas que están conectadas entre sí, de forma que se pueden controlar de forma conjunta.

En segundo lugar se procede a la asignación de recursos a las diferentes actividades. Un vez más se llevará a cabo una segmentación de los recursos en función del tipo, con el objetivo de manejar de manera más eficiente la información.

Por último se lleva a cabo un estudio presupuestario del proyecto.

9.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

Las actividades se engloban en bloques, y dentro de cada bloque se especifican las tareas que se realizan. A continuación se describen todas las acciones principales que se llevaron a cabo durante la fase de ejecución e implantación del proyecto. Estas tareas se podrían haber realizado de manera secuencial en algunos casos y en paralelo en otros, optimizando los tiempos y evitando la falta de concurrencia. No es este caso, dada la inexperiencia a la hora de afrontar proyectos de tal envergadura, que tuvo una duración de más de un año.

BLOQUE	SEMANAS
DOCUMENTACIÓN	12
COMPRAS	10
DISEÑO SISTEMA	14
DESARROLLO SISTEMA	24
INTEGRACIÓN	0-3
TOTAL	60

Tabla 23 Semanas de actividad

A continuación se procederá a la descripción detallada de las tareas que componen cada una de bloques principales que se muestran en la tabla anterior.

Cabe destacar que las semanas son estimadas y concretas para mi caso, que partía de unos conocimientos particulares en cada una de las materias que a continuación se describirán.

9.1.1. Documentación

El bloque de documentación se compuso de distintas tareas en áreas muy diferentes, dado el proyecto anteriormente expuesto. La documentación de la parte térmica y sobretodo sobre el firmware de la máquina, fueron las tareas que más trabajo ocuparon.

TAREA	SEMANAS
Variables físicas: Temperatura, humedad, ventilación	0,5
Física térmica	3
Física eléctrica	0,5
Componentes y hardware	2
Firmware controlador	4
Usos diferentes software	2
TOTAL	12

Tabla 24 Actividades documentación

9.1.2. Compras y aprovisionamiento

El proceso de compras tiene una componente difícil de estimar a priori, que es el periodo de recepción. Al tratarse de un material muy específico la búsqueda de proveedores y componentes fue laboriosa. A continuación se detallan las tareas concretas:

TAREA	SEMANAS
Búsqueda de componentes específicos	3
Búsqueda de proveedores	2
Elaboración lista de materiales	1
Decisión proveedor y cantidades	1
Recepción componentes	3
TOTAL	10

Tabla 25 Actividad compras

9.1.3. Diseño del sistema

Diseño visual de la estructura que alberga el aparato y diseño del proceso térmico que se produce en el interior de la urna. Por otro lado, se diseña el hardware y cableado del equipo de control del sistema y el circuito de potencia del módulo termoelectrónico.

TAREA	SEMANAS
Estructura urna	3
Configuración distintos elementos	2
Circuito térmico	1
Circuito electrónico: hardware aparato	5
Circuito potencia: alimentación Peltier	3
TOTAL	14

Tabla 26 Actividad de diseño

9.1.4. *Desarrollo del sistema*

En este bloque se tratan todas las tareas involucradas en el desarrollo del prototipo. Desde el desarrollo de la comunicación de los distintos periféricos con la máquina y con el usuario hasta el desarrollo del código necesario para convertir el dispositivo en un climatizador inteligente.

TAREA	SEMANAS
Periféricos del microprocesador	4
Periféricos del aparato	3
Actuadores y dispositivos de actuación	2
Medición	2
Comunicación	3
Desarrollo software de control del aparato	10
TOTAL	24

Tabla 27 Actividad de desarrollo

9.1.5. *Integración del dispositivo*

Este bloque es muy complejo de programar puesto que depende completamente de la estructura dónde se pretenda implementarlo y ello repercute en la cantidad de tareas y tiempo necesario. Se podría estimar que su duración sea desde horas hasta semanas, en caso de necesitar una compleja preparación para la aplicación.

Debido a estos motivos, la integración del dispositivo no se ha tenido en cuenta en la planificación del proyecto.

9.2. COSTES RECURSOS

Se debe determinar y proporcionar los recursos necesarios para implementar y ejecutar las actividades planificadas para el desarrollo y ejecución del sistema

9.2.1. Recursos de trabajo

Estos recursos incluyen la mano de obra necesaria para la realización y el despliegue de la solución. La tasa se ha aplicado para un sueldo de recién licenciado o diplomado en ingeniería electrónica.

RECURSO	TIPO	TASA ESTANDAR
Ingeniero Electrónico	Trabajo	25.000-30.000 €/año
TOTAL (€/año)		25.000-30.000

Tabla 28 Recursos de trabajo

9.2.2. Recursos materiales

En este apartado se incluye todo el equipo y útiles que serán utilizados para la implementación del sistema, aunque se obvian gastos recurrentes como el laboratorio, instalaciones, etc.

Habrán dos clases de recursos, los directamente implicados en la producción del aparato y los recursos útiles que con ellos se podrían ejecutar distintos aparatos. Estos útiles de trabajo se amortizarán en el tiempo de cuatro años, por lo que la constante de amortización será de 0,25 (1/4).

Cabe destacar que las tasas están aplicadas al año de duración del proyecto, en el que se trabaja en documentarse, diseño, desarrollo, pero que una vez realizado, los plazos disminuirían pues estas partes ya estarían acabadas. Al disminuir los plazos de producción, el número de productos sería claramente superior y el presupuesto partido del producto sería también inferior.

RECURSO	TIPO	TASA ESTANDAR (p.u)	
		TOTAL	AMORTIZACIÓN (0,25)
PC o portátil	Útil	600-1.200 €	150-300 €
Software Atollic TRUESTUDIO	Útil	4.000 €	1.000 €
Software Orcad Capture	Útil	6.500 €	1.625 €
Software Solid Edge	Útil	3.800 €	950 €
Osciloscopio digital	Útil	1.500 €	375 €
Soldador	Útil	100 €	25 €
TOTAL (€)		16.500-17.100 €	4.125-4.275 €

Tabla 29 Recursos útiles de trabajo

RECURSO	TIPO	TASA ESTANDAR (p.u)
Fuente alimentación 200w salida: 15V 13,3A	Material	15 €
Placa microprocesador	Material	12 €
Placa PCB con agujeros para experimentar	Material	5 €
Adaptador USB-Serial 3V3	Material	5 €
Teclado o joystick	Material	3 €
Display gráfico	Material	8 €
Sensor temperatura. DS18B20	Material	5 €
Sensor humedad. DHT11	Material	3 €
Iluminación LED 5000K 60º 18w (lentes+reflectores+driver+LEDs)	Material	40 €
Bombilla compacta de bajo consumo UVB	Material	15 €
Bomba de presión 5-15bar	Material	25 €
Nebulizador 6mm con puntera 0,4-0,7 mm	Material	10 €
Célula Peltier 150w 10A 40*40mm	Material	5 €
Disipador laminado lado caliente (exterior)	Material	10 €
Ventilador axial lado caliente 0,3A 12v 3,6w	Material	2 €
Silicona térmica	Material	8 €
Tocho metálico (aluminio)	Material	10 €
Disipador laminado lado frío (interior)	Material	10 €
Ventilador centrífugo lado frío 0,2A 12v 2,4w	Material	2 €
Ventilador axial extractor 0,1A 12v 1,2 w	Material	1 €
Componentes varios	Material	20 €
TOTAL (€/año)		214 €

Tabla 30 Recursos materiales

9.3. PRESUPUESTO PROYECTO

En el presupuesto propuesto a continuación se tienen en cuenta todos los gastos de diseño y de desarrollo de la ingeniería y los gastos en los útiles necesarios así como los materiales para montar un aparato.

Como se mencionaba en el apartado anterior, una vez se hayan pagado estos útiles de trabajo y se tuviese un ingeniero o incluso un técnico montando el producto ya diseñado y desarrollado, los costes en función del producto se atenuarían considerablemente.

CONCEPTO	U.T.	EUROS
Ingeniero Electrónico	1 año	25.000-30.000 €
PC o portátil	1	150-300 €
Software Atollic TRUESTUDIO	1	1.000 €
Software Orcad Capture	1	1.625 €
Software Solid Edge	1	950 €
Osciloscopio digital	1	375 €
Soldador	1	25 €
Materiales ejecución producto	1	214 €
TOTAL		29.339-34.489 €

Tabla 31 Presupuesto proyecto

10. CONCLUSIONES

10.1. RESUMEN DE CONCLUSIONES

Las aplicaciones en las que se han hecho uso las células Peltier, no abundan pese a todo el tiempo transcurrido desde el descubrimiento de este efecto. Pero hoy en día, las tendencias en el consumo debidas a los hábitos y requerimientos de la sociedad obligan a desarrollar objetos y aplicaciones más dirigidos al usuario, al pequeño consumidor, y por tanto, de menores dimensiones y capacidades, lo cual representa un nicho para esta tecnología antiguamente abandonada por las grandes industrias.

Por otro lado, la baja potencia de los módulos termoeléctricos frente a otros refrigeradores y calentadores, la alimentación a un voltaje de 12v y la capacidad de las células de producir la refrigeración y calentamiento en una única plancha, hace que resulte ideal para el control y el dimensionado del aparato final en el que se aplica.

Y como se ha comprobado, en esta tecnología el costo es otro de los argumentos de peso puesto que con no más de 30€ podríamos tener un aparato apto para enfriar o calentar y si quisiésemos hacerlo de una forma controlada inteligente con todo tipo de funcionalidades y actuadores como el descrito durante esta memoria, nos costaría poco más de 200€. Esto suponiendo el perfil del comprador como un particular.

En el presente proyecto se ha presentado un dispositivo de control mediante un microprocesador que maneja distintos actuadores y periféricos, entre ellos la célula Peltier. La precisión y la complejidad con la que se controla el clima han sido claramente satisfactorias, acercándose a los objetivos de representación de la realidad, de lo natural, y distando claramente de cualquier aparato que se comercializa hoy en día.

Se ha logrado que la capacidad calorífica del aparato prácticamente se destine toda a la urna en la que está aplicada, consiguiendo márgenes respecto a la temperatura ambiente de hasta +40°C y de hasta -15°C en recipientes muy aislados, únicamente con el consumo de una potencia eléctrica máxima de 70w. Ello representa un abanico de posibilidades bastante amplio en cuanto al mantenimiento de seres vivos como era el fin de este proyecto, pero con estos resultados también se abren las puertas a otras aplicaciones que requieran refrigeración tales como el almacenaje por ejemplo, en sectores como la hostelería o la medicina.

El programa desarrollado es capaz de generar cambios diarios y estacionales en el clima, luz, temperatura, humedad y renovación de aire y ha logrado mitigar los efectos de las inercias térmicas del sistema, gracias al control por ancho de pulso y la generación de una lógica avanzada de regulación. Esto ha permitido obtener un sistema de control natural lejano de los clásicos aparatos de control, temporizadores y termostatos e higróstatos, pero que también es apto para realizar un control más simple en caso de desearlo, siendo preciso y veloz ante los cambios que se generan por el ambiente o por el usuario.

Por último, mencionar que se ha puesto empeño en la simplicidad del código, en la medida de lo posible, de cara a evitar posibles errores y, en caso de darse, que fuesen

fácilmente detectables. Ello ha dado como resultado en programa robusto, con pocos fallos, pero que como casi siempre, puede ser mejorable.

Como conclusión, me gustaría añadir que durante mi periodo de trabajo y el tiempo que he dedicado a la elaboración de este informe, he logrado profundizar en diversas materias técnicas, lo cual agranda mi empeño y motivación por estas, y he podido aprender de una forma global los pasos que se llevan a cabo en la elaboración de un proyecto completo, desde su concepción hasta su implantación, y ello me da ánimo, confianza e inquietud por mi siguiente etapa profesional.

10.2. MEJORAS Y LÍNEAS DE FUTURO

El proyecto elaborado deja un amplio margen para la realización de futuras mejoras y ampliaciones en distintos campos tales como el control y la térmica, así como posibles trayectorias de futuro en esta u otras aplicaciones.

En cuanto al dispositivo térmico controlado por el aparato desarrollado, desde un primer momento se decidió hacer uso de una única célula en contacto con radiadores sometidos a convección. Pero no se estudió ni se profundizó en implementar un equipo, por ejemplo, compuesto por varias células Peltier, o por refrigeración líquida, etc. En función de la aplicación en las que usemos el módulo termoelectrónico y de los resultados que busquemos, existen distintas disposiciones térmicas de las células (en serie, en paralelo,...), o las hay de distintos tamaños o formas de montaje. La disipación del calor es otra de las partes en la que se podrían encontrar muy diversos resultados, refrigeración líquida, intercambiadores de calor,... Como se lleva mencionando a lo largo de toda la memoria, todas estas distintas configuraciones térmicas tendrían una influencia muy importante en el consumo eléctrico de las células, y en la regulación de las señales de control por las distintas inercias térmicas. Por ello, se puede afirmar que hay un abanico de posibilidades muy amplio, en el campo termoelectrónico, en el que poder desarrollar.

La parte de control y hardware funciona correctamente y está trabajada pero no deja de ser una base. Infinidad de posibilidades encontraríamos en cuanto a nuevas funcionalidades o recursos, mejoras de aspectos clave como rendimientos o consumos, y simplificación y robustez del programa. Por poner algunos ejemplos, memorias de mayor tamaño que ofrecerían la posibilidad de preestablecer ciertos climas con todas las variables físicas de control pre-programadas; trabajar en la pantalla ofrecería la posibilidad de hacer seguimientos gráficos de las variables ambientales.; LEDs de distintos tonos blancos permitirían equipararse más a la simulación real.

En cuanto a la regulación de las señales de control, como ya se mencionó en los apartados que lo trataban, existe un espacio de trabajo y mejora amplio, por ejemplo, pudiendo predecir los movimientos del sistema y actuar más eficazmente, o mitigando aún más los efectos de inercia térmica e incurriendo en un consumo menor del aparato y un clima más estable. Para ello primero se debería trabajar en la correcta modelización de todas las variables ambientales que se dan en un clima, y la influencia que tienen entre ellas.

Como ya se comentó al principio, futuras líneas de trabajo podrían ser aplicaciones similares como peceras, pequeños invernaderos, pero posiblemente las verdaderas líneas de futuro, desde un punto de vista menos ocioso y más genérico y de negocio, podría ser encontrar otros usos y aplicación del aparato. Tal y como se mencionaba en el resumen de las conclusiones, hoy en día la sociedad dispone cada vez de más aparatos en los hogares que nos hacen más fácil la vida, y ya no son sólo las industrias son las únicas interesadas en la tecnología, por ello, esta tecnología de pequeñas dimensiones, bajo consumo y extensas funcionales, cada día que pasa representa una mayor ventaja frente a los clásicos sistemas de refrigeración.

Es posible que cierta clase de negocios y sectores encuentren un interés por esta tecnología térmica controlada. La industria electrónica y del ordenador tiende a disminuir en proporciones y a aumentar en rendimiento, esto requiere de fuentes capaces de disipar calores más concentrados, incluso refrigerando. En otras industrias existe una influencia muy grande de las temperaturas requeridas en la conservación o creación de elementos, y suelen ser industrias donde la precisión y el rigor en las técnicas son fundamentales, por lo que un aparato similar al desarrollado podría tener su interés.

El almacenaje de productos podría ser otra de las aplicaciones, productos pequeños y de gran valor que requieren de procesos controlados podrían encontrar en este preciso control una nueva herramienta o forma de trabajo. Desde un producto alimentario como es el vino, que se almacena a temperaturas estables por tiempos largos, hasta disoluciones químicas, sueros o muestras biológicas usadas en la investigación, medicina y otros sectores.

En definitiva, como conclusión, los sistemas termoeléctricos que hacen uso de células Peltier, pueden ser fácilmente controlados y ofrecer regulaciones muy precisas, y ello representa una ventaja frente a otros equipos, siempre que se pueda llegar a tener un mínimo de rigor e interés en el desarrollo, y una buena disposición a la mejora, pues queda mucho camino por descubrir. Este desconocimiento que existe acerca de los las células, hacen que, muy posiblemente, se encuentren variadas aplicaciones, sectores o negocios donde resulte útil y beneficioso el empleo de estas.

GLOSARIO

- **ADC** (Analog to Digital Converter): Convertidor de señal analógico-digital.
- **CAD** (Computer-Aided Design): Programas de diseño asistido por ordenador.
- **CRC** (Cyclic Redundancy Check): Comprobación de redundancia cíclica.
- **DAC** (Digital to Analog Converter): Convertidor de señal digital-analógico.
- **Delay**: Tiempo de retraso.
- **Dimmer**: Regulador de energía, con el fin de variar la intensidad lumínica de bombillas.
- **Display**: Pantalla.
- **Driver**: Controlador lógico de una circuito eléctrico.
- **EEPROM** (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory): Memoria ROM que puede ser programada, borrada y reprogramada eléctricamente.
- **EPS** (Extruded Polystyrene): Poliestireno expandido de alta densidad.
- **Firmware**: Software que maneja físicamente el hardware del microcontrolador.
- **I²C** (Inter-Integrated Circuit): Bus de comunicaciones en serie.
- **Input floating**: Entrada flotante.
- **Joystick**: Palanca de mando.
- **Layout**: Diseño gráfico.
- **MCU** (microcontroller unit): Microcontrolador
- **NAND**: Inversa de la puerta lógica AND.
- **Nebulizador**: Boquilla que transforma un líquido en partículas diminutas.
- **NTC** (Negative Temperature Coefficient): termistor con coeficiente de temperatura negativo.
- **Ocaso**: Hora solar de puesta.

- **Open Drain:** Colector abierto, punto de trabajo no referenciado.
- **Orto:** Hora solar de salida.
- **Osciloscopio:** Aparato que representa gráficamente señales.
- **PCB** (Printed Circuit Board): Circuito impreso.
- **PID** (Proportional-Integral-Derivative): Mecanismo de control proporcional integral derivativo.
- **Pull-down:** Punto de trabajo a masa del sistema.
- **Pull-up:** Punto de trabajo a tensión de salida del sistema.
- **Push-pull:** Circuito electrónico que puede impulsar una corriente eléctrica positiva o negativa en una carga.
- **PVC** (Polyvinyl Chloride): policloruro de vinilo.
- **PWM** (Pulse-Width Modulation): Modulación por ancho de banda.
- **RTC** (Real Time Clock): Reloj de tiempo real.
- **RTD** (Resistance Temperature Detector): Detector de temperatura mediante resistencia.
- **SysTick:** Interrupción temporal que se produce en el sistema de control con un periodo de 1 ms.
- **UART** (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter): Controlador de puertos y dispositivos serie sin reloj.
- **USART** (Universal Synchrono-Asynchronous Receiver-Transmitter): Controlador de puertos y dispositivos serie con reloj.
- **Watchdog:** Mecanismo de seguridad que provoca un reset en caso de que temporalmente no hay una respuesta del programa.

APÉNDICE

El apéndice consta de tres partes:

- ❖ APÉNDICE HARDWARE
 - ❖ PELTIER TEC12710
 - ❖ LED POTENCIA
 - ❖ FUENTE DE CORRIENTE DIM LDD-H
 - ❖ TERMOHIGRÓMETRO DHT11
 - ❖ TERMÓMETRO DS18B20
 - ❖ DISPLAY GRÁFICO DIGOLE
 - ❖ CONVERTIDOR SERIE USB_UART
 - ❖ MICROPROCESADOR STM 32VLDISCOVERY
 - ❖ EEPROM 24ILC4
 - ❖ INVERSOR 74HC14
 - ❖ RECTIFICADOR IRLB8743
 - ❖ RECTIFICADOR IRS2109
 - ❖ REGULADOR VOLTAJE 7805
 - ❖ OPTOACOPLADOR ADUM1400
 - ❖ RELÉ ESTADO SOLIDO AQY21
 - ❖ TRANSISTOR LH1546
 - ❖ TRANSISTOR ULN2803
 - ❖ DRIVER TC1426
- ❖ RESULTADOS TERMOELÉCTRICOS EXPERIMENTOS NEVERA
- ❖ RESULTADOS ILUMINANCIA TERRARIO

